

建築基地保水貯集技術設計規範 與法制化之研究

子計畫二：人工濕地公共衛生暨維護管理之研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 94 年 12 月

PG9403-0069
094-301070000G-1021

建築基地保水貯集技術設計規範 與法制化之研究

子計畫二：人工濕地公共衛生暨維護管理之研究

受委託者：台灣雨水利用協會

研究主持人：林憲德 教授

協同主持人：荊樹人 教授

歐文生 助理教授

研究助理：施孟亨、游雅婷

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 94 年 12 月

**ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT**

**Study on the Design Guideline and
Regularization of Rainwater Retention
and Harvesting Techniques at
Construction Sites
The Study on Sanitation and Meantance of
Constructed Wetland**

BY

SHIEN TE LIN

SHUH REN JING

WEN SHENG OU

MENG HENG SHIH

YA TING YU

Dec 30, 2005

目次

圖次.....	III
表次.....	VII
摘要.....	IX
第一章 人工濕地概論.....	1
第一節 濕地的定義及功能.....	1
第二節 人工濕地系統種類.....	2
第三節 人工濕地去污機制.....	4
第四節 人工濕地的應用.....	7
第五節 人工濕地設計流程.....	9
第二章 人工濕地現況調查解析.....	13
第一節 台灣人工濕地發展情形.....	13
第二節 人工濕地案例現況調查.....	14
第三節 人工濕地現況調查結果.....	26
第四節 人工濕地維護現況問題與檢討.....	30
第三章 人工濕地淨化效能維護管理.....	33
第一節 前言.....	33
第二節 啟動期與穩定期維護管理.....	35
第三節 水質檢測維護管理.....	36
第四節 系統操作維護管理.....	39
第四章 人工濕地生態環境維護管理.....	45
第一節 人工濕地生物初期引進計畫.....	45
第二節 植物生態環境維護管理計畫.....	60
第三節 具威脅性生物種類移除計畫.....	66
第五章 人工濕地公共衛生維護管理.....	69

第一節 水媒致病菌及環境衛生害蟲問題	69
第二節 人工濕地水媒致病菌抑制計畫	72
第三節 人工濕地環境衛生害蟲排除計畫	74
第六章 維護成本及人力訓練計畫	75
第一節 人工濕地日常階段維護管理經費	75
第二節 人工濕地與傳統污水處理成本比較	79
第三節 人工濕地維護管理人員訓練課程	85
第七章 結論與建議	89
第一節 結論	89
第二節 建議	91
附錄 I 會議記錄	93
附錄 II 食蚊魚及鬥魚環境耐受性實驗	99
附錄 III 人工濕地維護管理手冊	109
參考書目	133

圖 次

圖 1-1 表面自由水層流動式系統.....	2
圖 1-2 表層下流動式人工濕地系統（水平流動型）.....	3
圖 1-3 表層下流動式人工濕地系統（垂直接流動型）.....	3
圖 1-4 人工濕地設計流程圖.....	12
圖 2-1 成功大學人工濕地全區配置圖.....	16
圖 2-2 成大人工濕地鳥瞰圖.....	16
圖 2-3 人工濕地 B 池	16
圖 2-4 景觀生態水池 C 池一隅.....	17
圖 2-5 景觀生態水池 C 池一隅.....	17
圖 2-6 光華女中人工濕地平面配置圖.....	18
圖 2-7 光華女中人工濕地全景.....	19
圖 2-8 光華女中人工濕地一隅.....	19
圖 2-9 小灣裡人工濕地平面配置圖.....	20
圖 2-10 小灣裡人工濕地一隅.....	20
圖 2-11 人工濕地植物採收情形.....	20
圖 2-12 二行社區人工濕地平面圖.....	21
圖 2-13 二行人工濕地全景.....	22
圖 2-14 二行人工濕地氧化塘	22
圖 2-15 二行人工濕地一隅（FWS）.....	22
圖 2-16 東寧人工濕地平面配置圖.....	23
圖 2-17 東寧人工濕地一隅.....	24
圖 2-18 東寧景觀水池一隅.....	24
圖 2-19 濕地水質污染濃度過高	24
圖 2-20 四、五月停止進水(一).....	24
圖 2-21 四、五月停止進水(二).....	24
圖 2-22 添加自來水，水質更惡化.....	24

圖 2-24 竹溪人工濕地一隅.....	25
圖 2-25 竹溪人工濕地（往上游取景）.....	25
圖 3-1 水質檢測情形	39
圖 3-2 人工濕地控制操作盤.....	40
圖 3-3 觀測進流、排放水情形.....	42
圖 3-4 水位異常降低	42
圖 3-5 水質惡化導致植生物死亡.....	43
圖 3-6 暴雨導致水體過度混濁.....	43
圖 3-7 定期進行水質檢測.....	43
圖 3-8 水質檢測採集水樣.....	43
圖 4-1 猩紅蜻蜓	53
圖 4-2 藍長腹細蟪	53
圖 4-3 黑眶蟾蜍	53
圖 4-4 小白鷺	53
圖 4-5 各種人工濕地系統穿越線調查路線.....	55
圖 4-6 底棲生物之底泥採集器與篩網.....	58
圖 4-7 植物採收裝備（前）.....	62
圖 4-8 植物採收裝備（後）.....	62
圖 4-9 分組進行植物採收工作（採收→收集→運送）.....	63
圖 4-10 漂浮性水生植物採收前.....	65
圖 4-11 漂浮性水生植物採收.....	65
圖 4-12 人工濕地水生植物採收.....	65
圖 4-13 水生植栽採收情形.....	65
圖 4-14 人工濕地捕獲烏龜.....	66
圖 4-15 遭烏龜咬食小茗菜.....	66
圖 4-16 大型蛙類—牛蛙.....	67
圖 4-17 福壽螺卵	67

圖 4-17 校園流浪狗逗留人工濕地飲水.....	68
圖 5-1 蚊子及孑孓	70
圖 5-2 蟑螂屋捕獲德國蟑螂.....	70
圖 6-1 人工濕地施工流程及方法.....	87

建築基地保水貯集技術設計規範與法制化研究
子計畫：人工濕地公共衛生及維護管理之研究

表 次

表 1-1 人工濕地去污機制.....	4
表 2-1 成大人工濕地相關資料說明.....	15
表 2-2 光華女中人工濕地相關資料說明.....	18
表 2-3 小灣裡人工濕地相關資料說明.....	19
表 2-4 二行社區人工濕地相關資料說明.....	21
表 2-5 東寧運動公園相關資料說明.....	23
表 2-6 竹溪人工濕地相關資料說明.....	25
表 2-7 人工濕地環境現況調查表.....	26
表 2-8 人工濕地統構造形式表.....	27
表 2-9 人工濕地水質淨化及再利用情形表.....	28
表 2-10 人工濕地水生植物類型表.....	28
表 3-1 我國各項排放水質及水資源再利用標準.....	36
表 3-2 人工濕地水質檢測記錄表.....	38
表 3-3 人工濕地與傳統污水處理技術比較.....	41
表 4-1 鳥類調查紀錄表.....	54
表 4-2 昆蟲與無脊椎調查紀錄表.....	56
表 4-3 二行社區人工濕地生物調查表.....	59
表 6-1 人工濕地系統及污水處理設施比較.....	84
表 6-2 人工濕地一般民眾訓練課程.....	85
表 6-3 人工濕地技術士訓練課程 第一天.....	86
表 6-4 人工濕地技術士訓練課程 第二天.....	86

建築基地保水貯集技術設計規範與法制化研究
子計畫：人工濕地公共衛生及維護管理之研究

摘要

關鍵詞：人工濕地、綠建築、綠色校園、維護管理

一、研究緣起

人工濕地系統之設置因地制宜，水資源再利用是明顯而立即之效果，然而卻也衍生環境風險及公共衛生議題，不得不正視，例如：水媒致病菌的產生、孑孓滋生議題等。而人工濕地系統運作時的操作維護管理議題，最容易被人們忽視，可能造成環境二次污染問題，違背設置生態淨化人工濕地的本意。因此，本研究持續進行水質監測，並針對人工濕地的日常維護管理階段，進行有關污水質量、水利負荷及污染物濃度操控等管理技術作探討。

二、研究方法及過程

1. 人工濕地系統實測解析

成大人工濕地已收集相關水質檢測數據一年，經由數據分析檢討，並針對淨化機制、效益評估、管理維護及相關公共衛生議題加以研究，以期對未來建立景觀化人工濕地操作技術規範有實質的助益。

2. 人工濕地公共衛生議題解析

在公共衛生問題，除了定期水質檢測計畫，並配合內政部建築研究所委託高雄醫學大學所做細菌微生物檢測，作配合調查及比對實驗數據。在病媒蚊防制方面，以放養大肚魚及鬥魚等食蚊魚來控制孑孓。關於食蚊魚在人工濕地環境生存狀況，有賴於魚類耐受性的實驗來求證。大肚魚、三星鬥魚及蓋斑鬥魚三種魚是人工濕地常見魚類，本研究將針對此三種魚類對於溫度、溶氧及氨氮濃度等進行耐受實驗。

3. 操作維護管理檢討

本研究已收集人工濕地相關基本資料，對於系統的操作維護管理及相關緊急處置方法等，有初步的研究成果，可作為建立維護管理規範及濕地管理維護參考。

三、重要發現

1. 人工濕地維護管理經費估算

人工濕地主要經營管理費用為基本人力支出費用、水質檢測費用及水電費用等。以成大人工濕地而言目前為實驗階段，每月維護管理費用為 55,450 元，其經費估算略高，當水質檢測費用（性能已達到原設計功能且系統穩定）及維護管

理成本降低，每月維護管理費用降至 15,650 元。

2. 人工濕地維護管理技術士訓練課程擬定

設置維護管理技術士可對濕地提供保障，本研究擬定人工濕地維護管理人員訓練課程，提供後續人工濕地技術訓練使用，所要求人員為具有相關領域背景，並於會後進行認證工作。

3. 傳統污水處理成本與人工濕地污水處理成本比較

根據本研究調查，目前污水處理設施成本較人工濕地處理費用低廉，但當人工濕地進入推廣使用階段，皆可大幅降低維護管理經費，且其附加價值更優於傳統污水處理設施，值得未來推廣使用。

4. 人工濕地維護管理手冊建立

以人工濕地來淨化污水，是省能源、省資源、無二次公害的生態工法。系統設計參數、整體淨化性能、操作維護管理及等，本研究建立人工濕地操作維護管理手冊，對未來建造及維護管理提供規範。

5. 成果發表

歐文生，期刊論文，人工濕地之研究，台灣濕地，研討會論文。

歐文生，研討會論文，人工濕地生態觀測與公共衛生之研究，建築研究成果發表會，中華民國建築學會。

歐文生，研討會論文，景觀化人工濕地淨化校園生活污水之效益解析，建築研究成果發表會，中華民國建築學會。

四、主要建議事項

立即可行建議

主辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部建築研究所

本研究建立人工濕地操作維護管理手冊，並擬定維護管理技術士課程，未來可委託政府單位進行推廣人工濕地並建立技術士認證制度，以確保濕地系統公共衛生安全無虞。

長期性建議

主辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部建築研究所

人工濕地系統仍有許多議題值得探討，如構造型式、水力估算、施工構法及維護管理等並不完善，可於未來進行人工濕地法制化可行性之研究，避免衍生後續環境衛生等議題。

ABSTRACT

Keywords: constructed wetland, green building, maintenance, green campus

In this project, a constructed wetland system was used for the waste water treatment on campus. It was subsidized by Architecture and Building Research Institute (ABRI), Ministry of the Interior under “Green Remodeling Projects for Governmental Buildings”. This constructed wetland system is located in Architecture Department of National Cheng Kung University (NCKU) and is the first full-scale campus constructed wetland built in Taiwan. The purpose of this project is to implement the observation of the decontamination capability and ecological development in constructed wetland.

From the viewpoint of global environmental protection, treating wastewater by constructed wetland is an ecological method which achieve energy saving and resource conservation without further public pollution. However, a constructed wetland in the absence of good maintenance systems will cause the sanitation problems and environmental risks.

After the establishment of this constructed wetland, the monitoring of water quality was implemented regularly, and the water quality usually meets the requirements of “Discharge Standard” set by Environmental Protection Administration of Taiwan. As for the impact factors of the constructed wetland, the location should be exposed under sufficient sunlight and against building wind in order to provide benefit to the growth of the macrophytes. Mosquito fish (*Gambusia spp.*) and *Trichogaster trichopterus* are cultured in the constructed wetland to control wigglers. The tolerate BOD condition of Mosquito fish is lower than 30 ppm and DO is higher than 1 mg/L; and that of *Trichogaster trichopterus* is lower than 60 ppm and DO is close to zero.

The main costs of maintenance on constructed wetland are the monitoring of water quality, labor work and power rate. When this project was used for experiment, it cost 55,450 NT dollars for a month, and in the regular stage, it cost 15,650 NT dollars per month. This project shows that it is efficient and low-cost to treat wastewater by constructed wetland.

建築基地保水貯集技術設計規範與法制化研究
子計畫：人工濕地公共衛生暨維護管理之研究

第一章 人工濕地概論

第一節 濕地的定義及功能

濕地的定義，在國際上至少有五十種以上之說法 (Hook, 1993)。其中最受認同首推 1971 年拉姆薩濕地公約(Ramsar Convention)，其將濕地定義為：「不論天然或人為、永久或暫時、靜止或流水、淡水或鹹水，由沼澤、泥沼地、泥煤地或水域所構成之地區，包括低潮時水深六公尺以內之海域。」

另外，國際自然及自然資源保育聯盟定義濕地：「有水生植物生長的地方。」；我國中華民國野鳥學會定義為：「濕地是指陸域與水域之過渡地帶，由字面看來，其是指潮濕的土地。而濕地的三要素為濕土、水域及水生植群。」；中華民國濕地保護聯盟：「濕地係指水域與陸域之間的交會地帶，經常或間歇的被潮汐、洪水淹沒的土地。」。這些是國內外文獻當中，能夠清晰描述濕地，且經常被引用的定義。

濕地對於水質淨化之功能，根據估計，一公頃的潮間濕地(Tidal wetlands)所發揮之功能，等同於最現代化污水廠花費 123,000 美元處理費的效能(Beatlay, 1994)。另一項估計，美國阿拉巴馬州莫比爾灣(Mobil Bay)面積約十九萬英畝，以一英畝可節省三千美元的淨水處理費用，總計可節省五億美元之譜 (Mobile Bay Estuary Program, 2000)。因此濕地對於淨化水質，以及吸附、轉換污染物之功能，吸引許多研究人員對於人工濕地的熱衷參與研究。

人工濕地係應用天然濕地生態系統中的功能及優點如：社經價值、環境品質價值及生物價值所建造成的污水淨化處理系統。人工濕地具有自然淨化、自行設計 (self-design) 及永續利用的特性，更具備建造成本較低、營運簡單和操作維護較容易等優點。濕地中的水生植物根莖部分及濕地填充介質的部分可以創造多孔隙環境，以提供細菌微生物、生物膜生長所需之環境條件，而植物可以傳送氧氣於水中供給水中微生物及其他生物使用，進而來處理污廢水當中的有機污染物。

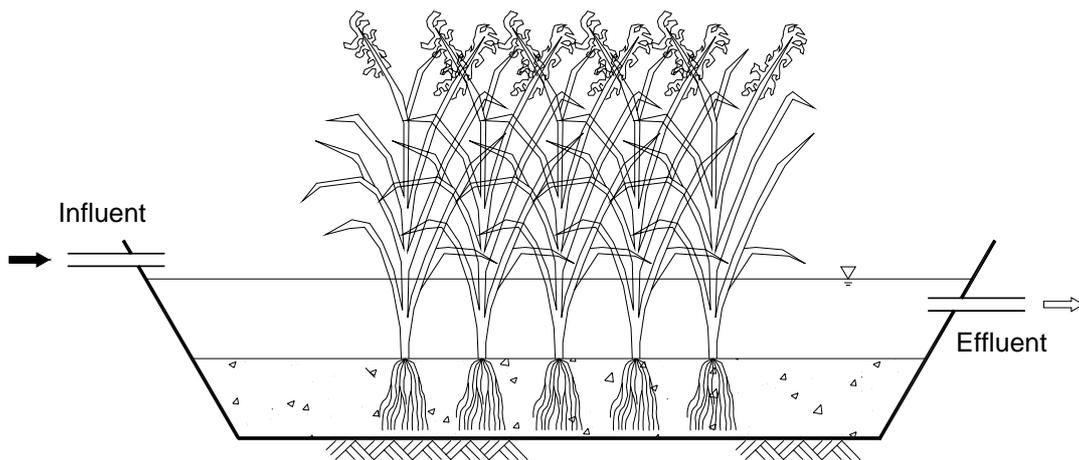
第二節 人工濕地系統種類

人工濕地是利用濕地當中之各項自然反應參數及機制，進而用以淨化水質的一種屬於環境工程領域的技術。應用於水污染防治的人工濕地大致可分為表面自由水層流動式(free water surface flow system, FWS)及表層下流動式(subsurface flow system, SSF)等兩大類型，並且藉由操控水力停留時間(hydraulic residence time, HRT)來達到去除特定污染物的功效。

1. 表面自由水層流動式

此為模仿天然濕地之水文及環境狀態的人工濕地。設計為淺凹窪地，底層具有土壤層或其他介質，以提供水生植物著根之用，並由水位控制設施來調整水深。進流水在窪地水層中自由流動，當水流經過土壤層、水層與植物的根、莖部接觸後，可達淨化效果(圖 1-1)。北美地區大多採用此種系統，由於外觀接近天然沼澤，除了污染防治功能外，FWS 系統可營造出新的野生動物棲息地、增強鄰近濕地在野生動物保育上的功能，並具有美化景觀之功能。

圖 1-1 表面自由水層流動式系統

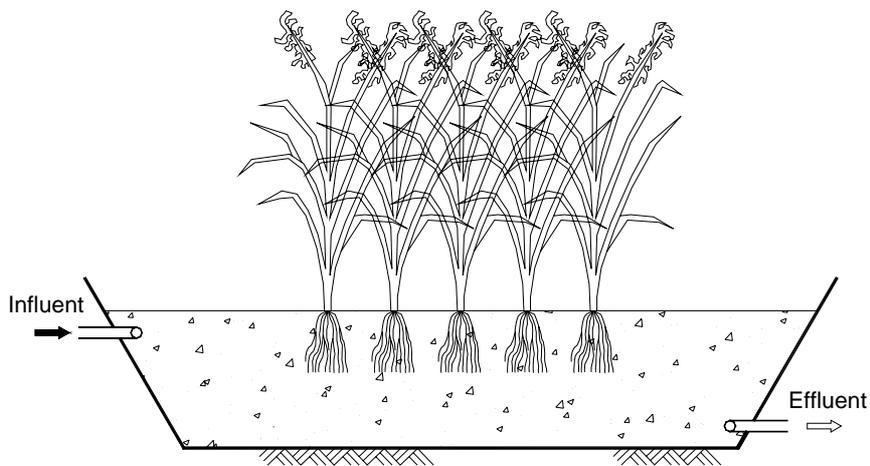


2. 表層下流動式

為一窪地，其中填充砂土或礫石作為介質，並得以支持挺水性植物(如

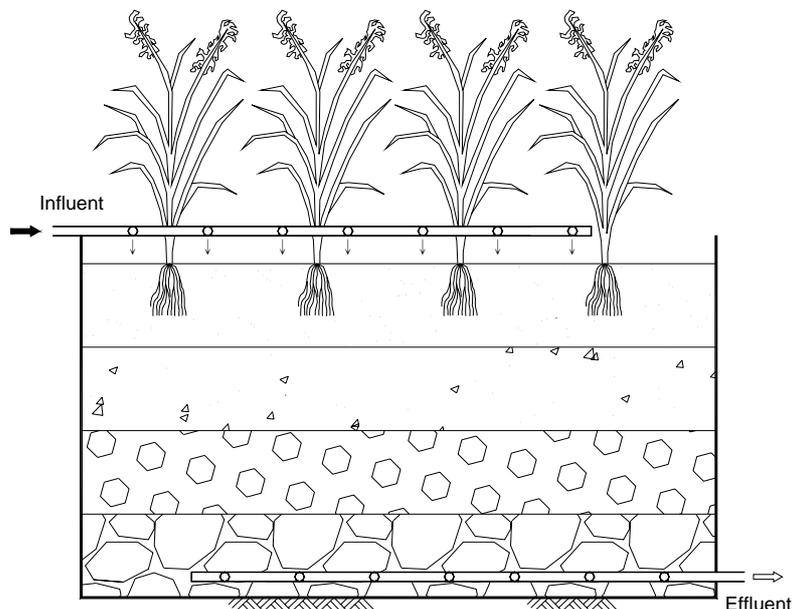
蘆葦、香蒲)的生長，進流水被迫在表層下的砂土、根系及根莖系間流動，以達到淨化效果，此種系統便是由根系區間法(root-zone method, RZM)與蘆葦床處理系統(reed bed treatment system, RBTS)技術演進而來，此系統一般常見於歐洲大陸國家。SSF 系統一般依水流動方式又可分兩類：
水平流動型(horizontal-flow system)：進流由一端進入，水平流向另一端出口。

圖 1-2 表層下流動式人工濕地系統（水平流動型）



垂直接流動型(vertical-flow system)：進流方式是由表面逐步向下滲流至底部的集流管。

圖 1-3 表層下流動式人工濕地系統（垂直接流動型）



第三節 人工濕地去污機制

1-3-1 濕地淨化機制

濕地的水流流速緩慢（水力停留時間較長），容易形成一個良好的沈澱池，對於可沈降的有機物與懸浮物固體具有極佳的去除效果。人工濕地為一水生植物、微生物及相關棲息之生物所構成的生態環境，當中的介質或植物的根、莖系布滿大量生物膜，同時會產生過濾性的去除，而生物可分解或可溶解的有機物亦可藉由生物作用得以處理。

人工濕地在操作上不需要曝氣、攪拌、加壓等人為的動力輸入，亦不需加入任何化學藥劑、介質單體等人造物質，且污染物在人工濕地系統之『生態反應器』中，被去除的機制為多功能的也是全面性的，而且可同時發生，但單靠自然淨化速率較慢、且較為複雜。去除機制除了結合各種物理性、化學性、微生物性等處理外，另外更包括濕地系統中各種植物的攝取作用。以下是 CW 系統之之去除機制與碳及氮之循環模型。

表 1-1 人工濕地去污機制

	淨化機制	去除污染物
1.	沈降(sedimentation)	懸浮固體及微生物
2.	過濾(filtration)	懸浮固體及微生物
3.	吸附(adsorption) 離子交換(ion exchange) 化學沈澱沈積 (precipitation)	磷酸鹽、重金屬
4.	微生物礦化作用 (mineralization)及轉化作用 (氨化、硝化及脫硝)	有機質、氨氮、亞硝酸氮及硝酸氮
5.	同化作用(assimilation)及 攝取作用(uptake)	有機質、氮、磷及重金屬
6.	太陽輻射線作用 (radiation)	病原菌
7.	掠食作用(predation)	病原菌

人工濕地之生態系統包括了土壤、礫石、植物與存在水中及底泥中的各種生物，如大型動物、微生物、原生動物等。並利用自然界提供之物理、化學及生物程序來進行污染物的淨化。這些程序的機制、原理與傳統廢水處理法所使用的操作及程序相類似。但是人工濕地的淨化系統中，這些處理機制很少仰賴機械能源驅動。

1-3-2 水生植物去污功能

1. 淨化污水功能

水生植物(如布袋蓮、水燭、空心菜)具有吸收污染源的效果，工業區設置適當面積的濕地作為淨化池，可以透過水生植物以及底泥物質的化學作用，吸收及分解污染物質，達到淨化水質的效果。建立一個新的人工濕地時，其在整個人工濕地生態環境尚未穩定時，常會發生植栽有明顯稀疏甚至會有死亡的現象產生。因此在選擇植栽種類方面應選擇以耐污性佳、生長快速的植物為先驅物種。

2. 調節氣候功能

水生植物具有降低局部氣溫與局部反光的功能，植物本身具有不同色素可吸收及反射日光中某些波長的能量，因此可以改善當地微氣候。

3. 生產者功能

水生植物在水中及濕地環境扮演生產者的功能，植物體可以提供人類或動物食用如空心菜，亦可提供草食性魚類或水棲昆蟲的食物，許多高等植物的落葉或死亡的植株，也都是水棲小動物的食物或棲所。

4. 生態庇護功能

不論浮水或固著性水生植物，大部份的水生植物具有葉綠素，可行光合作用吸收 CO_2 並釋放出 O_2 ，供水中的魚類呼吸，枝葉可作為魚類以及水棲動物庇護的場所。

5. 人為利用功能

水生植物典型的利用方式為插花材料如水燭、風車草，許多浮水性植

物可作為人工飼料，漂浮性的布袋蓮由於生長快速而引進台灣，作為餵養鴨豬等家畜的飼料，其他諸如荷花、菱角等植物更是早經人為種植利用的水生植物。

6. 景觀美化功能

水生植物植物體可以減少水面反光，並增添水中景色。許多特殊的水生植物早為人工種植，做為庭園觀賞之用，例如野慈姑、風車草、荷花等植物。台灣原生植物亦有不少種類如台灣萍蓬草、鴨舌草、香蒲等，可進一步推廣為景觀美化植物。(黃朝慶、彭國棟)

第四節 人工濕地的應用

應用人工濕地來處理廢污水的範圍很廣，有農業、漁牧業、工業及一般社區等廢污水。下列就人工濕地污水處理狀況作一簡單敘述。

1. 農牧業廢水

農牧業廢水包括來自牲畜廢水、農田出流水及水產養殖廢水等。人工濕地系統對於不同農牧漁業廢水中之有機物、總懸浮固體 (Total Suspended Solids, TSS)、氮 (Nitrogen, N) 等，均有一定的去除效果。根據魚類養殖水的文獻指出，人工濕地對其 TSS、葉綠素 (chlorophyll)、化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand, COD)、總氮 (Total Nitrogen, TN) 及磷酸鹽的去除率分別為 47-86%、76-95%、25-55%、95-98% 及 32-71% (林瑩峰, 2000)。

2. 工業廢水

礦業、鋼鐵業、食品業、石化業、造紙業、染整業等的廢水均可以人工濕地系統處理。煤礦的排水通常含有高濃度的鐵、錳、鋁及硫酸鹽，而金屬礦的排水則可能含有各種離子。根據文獻結果，進流水中的 20mg/L 的鉛、11mg/L 的鉻及 0.82mg/L 的鋅，其去除率分別為 94-99%、75-87% 及 18-39% (王姿文等, 1998)。

食品工業如製糖、蔬菜、肉類處理等之廢水通常含有高濃度的有機物及懸浮固體，人工濕地系統具有有效的去除能力 (Kadlec, R. H., 1996)。

石化工業廢水中所含的污染物種類繁多，一般作為標的參數的有 BOD₅、COD、氨氮、硫化物、酚類、油脂、六價鉻、總鉻及懸浮固體物。Litchfield (Litchfield, D. K., 1993) 指出人工濕地系統可以去除石化廢水之二級放流水中 88% 的 BOD₅。

3. 垃圾掩埋場滲出水

一般在面對滲出水處理時，對於其高濃度 BOD₅、氨氮、金屬及很高或很低的 pH 較為關注。人工濕地對滲出水也具有良好的處理效果 (IWA,

2000)。

4. 生物污泥處理

對於社區污水設施所排放的污泥脫水棄置問題，人工濕地也是一種經濟有效的方法。人工濕地系統中水生植物的根系可提供氧氣作為硝化分解生物污泥之用，釋放出的物質亦可以為植物所吸收，進而達到污泥減量的結果。根據 Mellstrom and Jaeger 所示，生物固體的消失率約為 90%。在假設進流負荷為 100L/m²的情況下，濕地中累積 1 公尺深度的污泥，約需耗時 8-10 年 (Mellstrom, R. E. et al., 1994)。

5. 生活污水

生活污水指的是人類於日常生活當中所排放之污水，根據行政院環保署統計，生活污水由沐浴盥洗 (33%)、洗衣 (30%)、飲食烹飪 (23%)、家庭清潔 (7%) 及雜排水 (7%) 所組成。生活污水主要的目標處理物以氮、磷、有機物及懸浮固體物為主，人工濕地系統在此方面的應用主要為完成二級及三級處理的部分。根據北美處理濕地資料庫 (Knight, R. L. et al., 1993, NADB) 顯示，人工濕地系統對上述的污染物均有相當的去除效果。

第五節 人工濕地設計流程

1. 人工濕地設計流程

設計人工濕地從基地選址、水力估算、系統設計施工及後續的操作維護管理，應該按照計畫進行。人工濕地對於淨化受污染水源有極大的成效，但是從人工濕地失敗的案例中，亦可看到若不謹慎評估淨化系統、建立良好維護管理制度、設計施工不良所引起的負面效果。

2. 人工濕地基地位置選址評估

基地位置選址應評估其可行性，例如人工濕地設置土地取得、周圍地區居民的設置意願、土地使用現況、該地區的氣候及自然環境條件等進行評估：

(1) 人工濕地設置土地取得

雖然人工濕地具備有天然濕地的各種優點例如所需能源少、自然淨化、所需成本較低廉等，但其也承受了先天上的缺點，極為緩慢的淨化過程。自然淨化程序節省了成本及能源耗損，但是其緩慢的淨化處理程序則迫使設計者要規劃更大的空間來達成所要求的處理速率，因此設置土地的取得應以土地取得方便、有腹地擴充為考量。

(2) 周圍地區居民的設置意願

居民的意願可以影響人工濕地的成功與否。例如應用人工濕地處理社區污水，在建設期間及操作維護管理階段，皆可與社區發展營造作結合，進而建立地區風貌及人工濕地的特色。

(3) 土地使用現況

人工濕地具有提升地區生物多樣性、保育動物、景觀美化及回收可再利用的水資源，故周圍土地使用現況若與人工濕地本身結合，可增加濕地的功能。

(4) 該地區的氣候環境條件

濕地系統處理廢水的主要機制是以生物淨化為主，因此，濕地的淨化效能受到溫度（空氣溫度及水溫）影響非常大。溫帶及寒帶國家地區（歐

洲大陸)，氣溫變化差異大，水溫有時會降至 10°C 以下甚至結冰，對於濕地處理效能有負面效果。因此，歐美地區人工濕地施作以表層下流動式（SSF）為主；亞熱帶、熱帶地區（台灣、東南亞）則以表面自由水層流動式（FWS）為主。

（5）自然環境條件

自然環境條件包含：地形、土壤性質及當地生態系統。

a. 地形

濕地場址選擇以具有緩和地形（坡度不宜過大）且地形變化均勻起伏較小的基地為佳。人工濕地建造時期池底通常會設計 1~3% 坡度以利水流動。

b. 土壤性質

人工濕地設置用意為將廢水藉由植物吸收及底部介質、微生物等加以過濾淨化，所收集廢水應在土壤層上層滯留進行淨化，減少其滲入土壤下層。因此，系統設置的土壤性應以滲透係數小的土壤性質為主，若無法達成要求，亦可在建造初期以夯實等手法來降低滲透性，若濕地規模不大，可以選擇使用人造不透水布等材料隔絕滲透土壤。

c. 當地生態環境

濕地建立最初，需引進相關生物構築多樣化環境，使生態系統完善且快速達到生態平衡，生物金字塔結構不會因物種單一化，或物種缺乏產生不穩定現象。同時應先對當地生態進行調查，避免人工濕地引進生物種與當地生物種衝突，待生態平衡穩定時應建立指標生物種類，指標生物用途在於表現生態環境條件與環境適生性。指標生物在生態系統中扮演著生存與繁衍的任務，並與其他生物合作或競爭，與整個環境交互作用營造最適合的生態環境。

（6）相關法令限制

人工濕地構造因環保法令所限，不得接觸土壤，以免污染土壤及地下水，通常採用不透水布等材質將其隔離，與人工濕地排放水及再利用標準相關之法令有：建築物污水處理設施放流水標準、陸域地面水體分類及水質標準、灌溉用水水質標準及土壤處理標準（施灌花木）。

3. 人工濕地水力及系統估算

水力停留時間指的是進流水及出流水的平均流量，在濕地系統的平均停留時間（天）。一般而言，表面自由水層流動式人工濕地（FWS）設計水力停留時間，介於5~14天（Wood, 1995）。美國環保署對於生活污水二級處理設施所訂的HRT設計值，表面自由水層流動式人工濕地（FWS）及表層下流動式人工濕地（SSF）兩者設計值也是建議在4~15天（Metcalf & Eddy, Inc., 1991）。

除了設計HRT，必須同時考慮生化需氧量（Biochemical Oxygen Demand, BOD）的負荷量（Manual）及污染物濃度目標（如放流水標準）。理論上，當濕地進流水性質變動不大時，水力停留時間越長，濕地放流水的污染物濃度越低，水質越好，然而會減少人工濕地處理的水量。

4. 人工濕地建造計畫

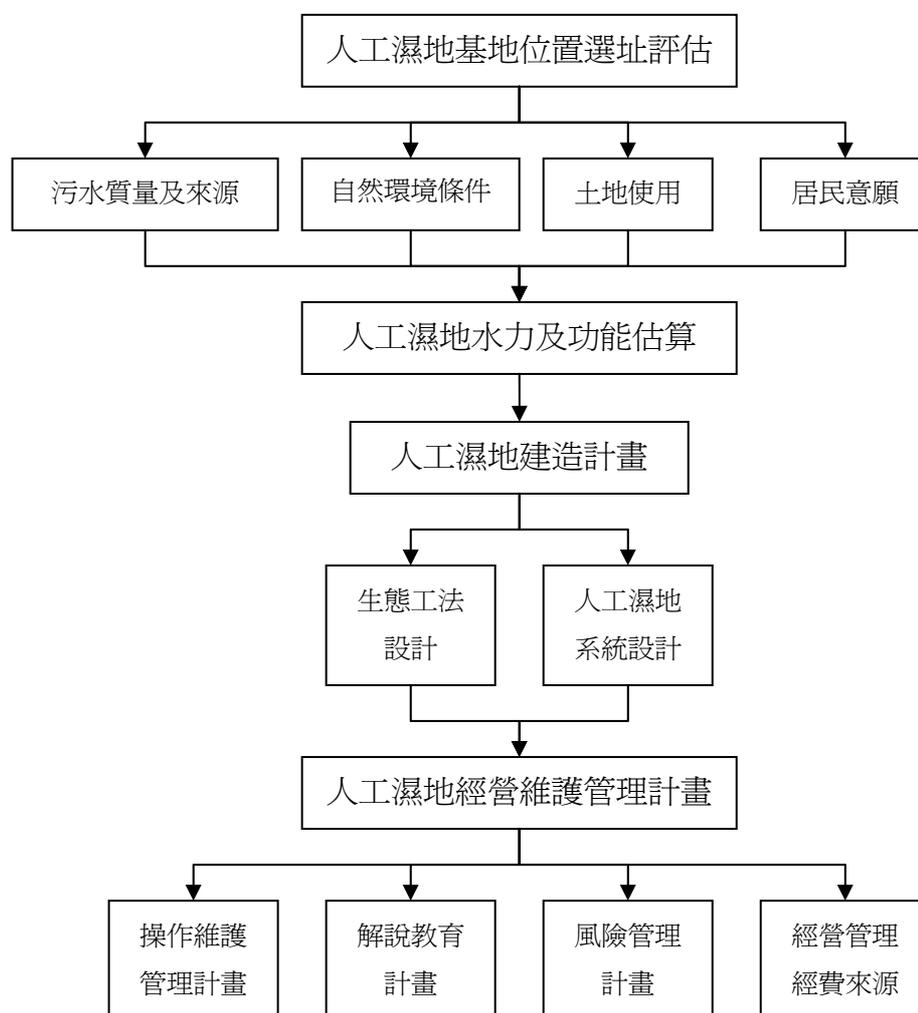
人工濕地的建造不應大興土木，不需過多的工程設計。強調生態工程設計的人工濕地其模仿自然濕地系統，建造同時也應以生態工法來進行。而生態工法講究「因地制宜、就地取材」，本意在於減少運輸耗能，若是違背這個原則，將會增加地球環境負荷。

以建材使用量觀點而言，天然卵石的使用量越少、夯實用的黏土減少採用，可使環境負荷降至最低。採用回收再生材料，減少天然資材使用，不僅達到廢棄物減量，同時也可減少使用地球資源，對綠建築永續發展之意義重大。

5. 人工濕地經營維護管理計畫

以人工濕地系統淨化污水，其操作維護管理與一般的傳統污水處理廠比起來，其操作維護及經營所需要的費用都較為簡單節省，然而，這並非代表建立完成後，及可使其依靠自然淨化程序任其淨化發展。操作維護管理應定期進行，例如水流控制、植物採收，適時的操作與管理人工濕地可以保持淨化效益，且延長人工濕地的壽命。

圖 1-4 人工濕地設計流程圖



第二章 人工濕地現況調查解析

第一節 台灣人工濕地發展情形

台灣在人工濕地之研究相較於國外起步稍晚。國內人工濕地研究工作由 1995 年開始進行，而實驗場皆屬於小型模場，至 2001 年台南縣仁德鄉二行社區發展協會，在台南縣環保局與農業局輔導及嘉南藥理科技大學研究團隊技術指導，才完成以處理社區生活污水的人工濕地系統，台灣亦開始陸續有大型人工濕地系統運作淨化水質。

目前對於人工濕地技術已進行數年研究的有成功大學環境工程學系溫清光教授、中山大學海洋環境系楊磊教授、邱文彥教授、環境工程系高志明教授、基隆海洋大學河海工程系李志源教授、屏東科技大學環境工程系郭文健教授及嘉南藥理科技大學人工濕地荊樹人教授研究團隊。此外，在水資源再生利用上，成功大學建築系林憲德教授、歐文生等人亦進行綠建築污水改善指標之相關研究。研究範圍主要包括：

- (1) 人工濕地系統及設計參數之建立
- (2) 人工濕地針對不同費污水的實際應用（地下水、校園生活污水、小型社區污水、農牧業廢水及休閒休憩區污水等）
- (3) 人工濕地中水體流動模式建立
- (4) 濕地生態受污染影響的資料收集
- (5) 適用於人工濕地水生植物種類及特性資料庫建立
- (6) 人工濕地中底泥、植物及水質淨化關係
- (7) 校園污水運用人工濕地處理及水資源再生可行性
- (8) 人工濕地生命週期之評估 (Life Cycle Assessment, LCA)

第二節 人工濕地案例現況調查

2-2-1 人工濕地研究對象及調查項目

由於時間及人力等因素考量，人工濕地現況調查研究對象主要以可及性高、調查便利及其為實場操作環境已達一年以上為主。由於台灣目前人工濕地仍處於起步階段，本身相關資料收集不易，且多數人工濕地屬於實驗場形式規模較一般人工濕地小，無法有效看出其經營維護管理情況，種種因素考量下，本研究選出調查對象有六個，共計有成功大學人工濕地、光華女中人工濕地、小灣裡人工濕地、二行社區人工濕地、東寧運動公園人工濕地及竹溪人工濕地等，調查時間為2004年10月至2004年4月。

(1) 相關圖面資料取得

透過圖面資料尺寸與比例標示，可以輔助在實地測量時的位置準確性。由於人工濕地現況調查對象其興建的時間為近幾年，故相關圖面資料收集不易。若該人工濕地無法取得基本圖檔資料，則只能以捲尺及測量工具進行簡單基本測繪，以利後續調查進行。

(2) 實地調查測量

a. 基本資料

基地環境位置、周圍環境現況、啟動時間及每日處理量

b. 人工濕地構造資料

人工濕地設計形式會因處理污染物、當地自然環境及操作維護等考量而有所不同，因此人工濕地是因地制宜的，其各自具有不同的類型、面積大小、介質材料及底材等。

c. 植栽調查

植栽調查包括週邊環境植栽及人工濕地水生植栽部分。週邊環境植栽主要將其區分成喬木及灌木兩大類，而人工濕地水生植栽部分則以挺水性植物、浮水性植物、漂浮性植物及沈水性植物來加以區分。

d. 水中生物調查

對於水中生物進行調查包括：魚類、兩棲類、昆蟲等進行調查。

e. 相關問題發掘

對於該人工濕地使用狀況及相關人員進行訪談記錄。

2-2-2 人工濕地研究對象及調查項目

1. 成功大學人工濕地

表 2-1 成大人工濕地相關資料說明

基本資料	名稱	成大人工濕地		
	人工濕地位置	台南市成功大學建築系中庭及系館建物旁	建前基地現況	建前基地現況為教室及系館建物的周圍空間死角，之前基地為閒置空間再利用
	啟用時間	2003/11	每日處理量	3-5CMD
構造資料	濕地類型	SSF - - FWS FWS -		
	濕地面積	人工濕地總面積 144 m ² ，其中 FWS 系統 108 m ² ，SSF 系統 36 m ²		
	介質材料	卵石、爐石、牡蠣殼、土壤		
	構造及底材	不透水布、砌石		
	污水種類	生活污水		
	排放水再利用	澆灌使用、生態池水源		
	日照條件	全日照、八小時日照		
問題發掘	水生植物生長狀況及生長位置	人工濕地部分植物一般生長狀況良好。 A 池種植主要以耐污性高的水生植物為主。 B 池種植由於污染濃度降低，所以種植的植物較為多樣性。 景觀生態水池 C、D 池的部分主要以植物多樣化，並種植開花及觀葉種植物為主。		
	人工濕地使用現況	台灣人工濕地參訪的地點。 目前人工濕地使用現況良好，有委託嘉藥定期作水質檢測。		
	維護管理現況	具有較專業的維護管理人員		

圖 2-1 成功大學人工濕地全區配置圖

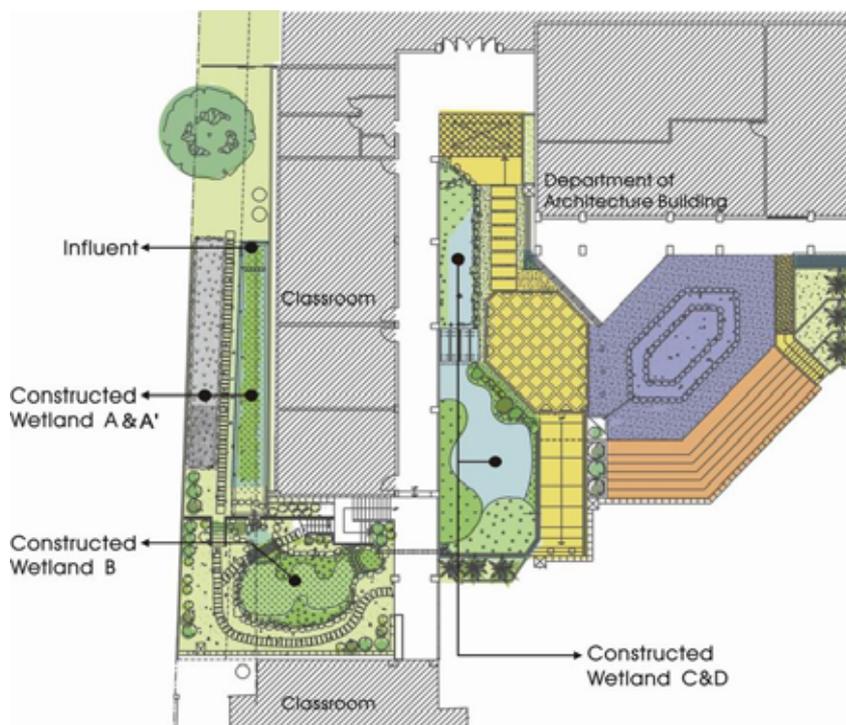


圖 2-2 成大人工濕地鳥瞰圖



圖 2-3 人工濕地 B 池



圖 2-4 景觀生態水池 C 池一隅



圖 2-5 景觀生態水池 C 池一隅



2. 光華女中人工濕地

表 2-2 光華女中人工濕地相關資料說明

基本資料	名稱	光華女中人工濕地		
	人工濕地位置	台南市光華女中	建前基地現況	校園閒置空間再利用
	啟用時間	2003/06	每日處理量	1-2CMD
構造資料	濕地類型	FWS-SSF-FWS-SSF		
	濕地面積	人工濕地總面積為 55m ²		
	介質材料	卵石		
	構造及底材	不透水布、砌石		
	污水種類	生活污水		
	排放水再利用	澆灌使用、生態池水源		
	日照條件	全日照、八小時日照		
問題發掘	水生植物生長狀況及生長位置	人工濕地部分植物一般生長狀況都不錯，種植主要以耐污性高的水生植物為主。 而由於污水進水量不高（進流量推估 1-2CMD），所以植物生長情形良好並沒有過盛的現象產生。		
	人工濕地使用現況	目前人工濕地使用現況良好，有委託嘉藥定期作水質檢測，也提供光華女中師生一個休憩教學場所。 目前進水量並沒有固定進水，因此嘉藥定期作水質檢測主要為確保其公共衛生安全無虞。		
	維護管理現況	維護管理師生並未直接參與，人力稍嫌薄弱。 並未有專業管理人員，目前為校工一人管理。		

圖 2-6 光華女中人工濕地平面配置圖

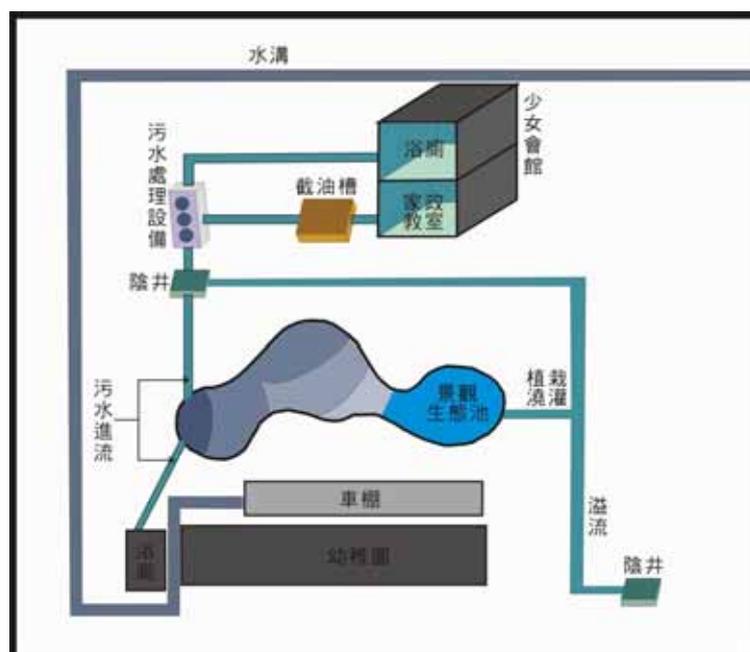


圖 2-7 光華女中人工濕地全景



圖 2-8 光華女中人工濕地一隅



3. 小灣裡人工濕地

表 2-3 小灣裡人工濕地相關資料說明

基本資料	名稱	小灣裡人工濕地		
	人工濕地位置	台南市南區灣裡路	建前基地現況	建造前基地為灣裡社區的公園及荒廢地。
	啟用時間	2002 年底	每日處理量	10-20CMD
構造資料	濕地類型	FWS-FWS-SSF		
	濕地面積	人工濕地總面積 300m ² ，其中 FWS 系統 200m ² ，SSF 系統 100m ²		
	介質材料	卵石、土壤		
	構造及底材	不透水布、砌石		
	污水種類	生活污水		
	排放水再利用	生態池水源，經過生態水池後的水再排入灣裡大排		
	日照條件	全日照、八小時日照		
問題發掘	水生植物生長狀況及生長位置	人工濕地部分植物一般生長狀況都不錯，種植主要以耐污性高的水生植物為主。		
	人工濕地使用現況	目前進水量不明，但是植物生長狀況良好。 依水位來看應是有進流廢水水，推估為缺水時進水。 無法得知是否有請人作水質檢測。		
	維護管理現況	有定期採收管理人員，無專業維護管理人員。		
	其他	人工濕地植物採收週期過長，缺乏維護管理。		

圖 2-9 小灣裡人工濕地平面配置圖



圖 2-10 小灣裡人工濕地一隅



圖 2-11 人工濕地植物採收情形



4. 二行社區人工濕地

表 2-4 二行社區人工濕地相關資料說明

基本資料	名稱	二行人工濕地		
	人工濕地位置	台南縣仁德二行社區	建前基地現況	廢耕的農地，地主提供土地出來作人工濕地污水處理使用
	啟用時間	2001/11	每日處理量	40-80CMD
構造資料	濕地類型	FWS-SSF		
	濕地面積	人工濕地總面積 400 m ² ，其中 FWS 系統 300 m ² ，SSF 系統 100 m ²		
	介質材料	卵石、土壤		
	構造及底材	不透水布		
	污水種類	生活污水		
	排放水再利用	澆灌使用		
	日照條件	全日照、八小時日照		
問題發掘	水生植物生長狀況及生長位置	人工濕地部分植物一般生長狀況都不錯，種植主要以耐污性高的水生植物為主。		
	人工濕地使用現況	台灣人工濕地參訪的地點 目前人工濕地使用現況良好，有委託嘉藥定期作水質檢測，也提供社區居民一個優良的聚會場所。		
	維護管理現況	具有較專業的維護管理人員 維護管理人員有定期的進行採收，設有專員管理。 但是平時不定期的管理並不確實，因此有受到外來生物入侵（如：福壽螺等），生態系統會遭受威脅。		
	其他	維護管理人員有在維護，所以整體環境狀況維持良好。 上次去的時候發現植物過盛沒有清除，且雜草叢生。		

圖 2-12 二行社區人工濕地平面圖

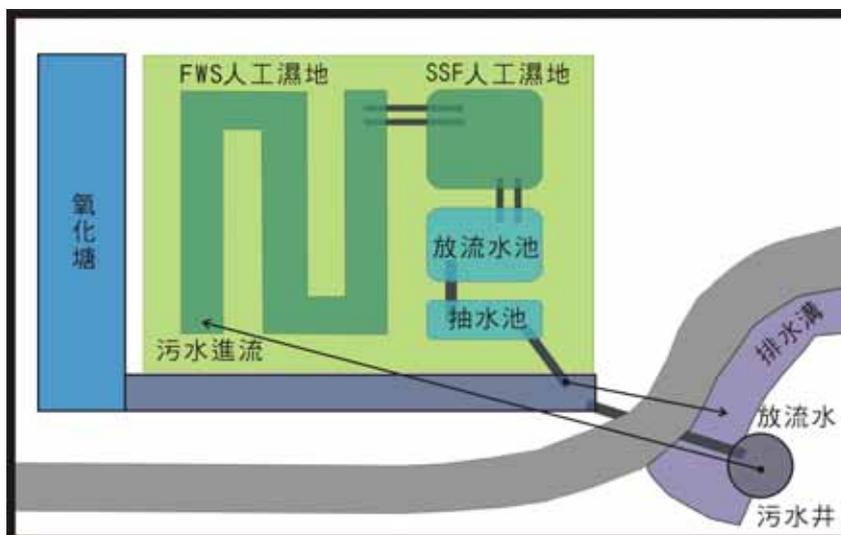


圖 2-13 二行人工濕地全景



圖 2-14 二行人工濕地氧化塘



圖 2-15 二行人工濕地一隅 (FWS)



5. 東寧運動公園

表 2-5 東寧運動公園相關資料說明

基本資料	名稱	東寧運動公園		
	人工濕地位置	台南市林森路、東寧路 交叉口東寧運動公園	建前基地現況	建前為溜冰場旁閒置 空地（人工濕地），另 一為公園涼亭處（景觀 生態水池）
	啟用時間	2004/04	每日處理量	未知
構造資料	濕地類型	全 FWS		
	濕地面積	人工濕地面積為 90m ²		
	介質材料	卵石、爐石		
	構造及底材	RC		
	污水種類	生活污水（沒有設置油脂截流設施）		
	排放水再利用	生態池水源（生態水池水源不定時加入自來水）		
	日照條件	全日照、八小時日照		
問題發掘	水生植物生長狀況 及生長位置	水生植物不耐污而導致死亡，整個水池的水髒臭。		
	人工濕地使用現況	四月底、五月初停止進水。（真的翻池了） 2005 年初市政府環保局勒令，如果一個月內部整頓好的話就回填， 因此停止進水。		
	維護管理現況	缺乏專業人員維護管理。 社區民眾有心，但是不知從何維護管理起		
	其他	基本的維護管理觀念沒有，很難長久的維持下去		

圖 2-16 東寧人工濕地平面配置圖



圖 2-17 東寧人工濕地一隅



圖 2-18 東寧景觀水池一隅



圖 2-19 濕地水質污染濃度過高



圖 2-20 四、五月停止進水(一)



圖 2-21 四、五月停止進水(二)



圖 2-22 添加自來水，水質更惡化



6. 竹溪人工濕地

表 2-6 竹溪人工濕地相關資料說明

基本資料	名稱	竹溪人工濕地		
	人工濕地位置	竹溪人工濕地位於台南市健康路體育公園內，介於健康路與成功橋之間的竹溪河段沿岸。	建前基地現況	建造前基地現況為河流的高灘地上，由於考慮為臨時性的建造及結構相關問題，因此設置於高灘地上並以紐澤西護欄作為於都市排水道設置人工濕地可行性。
	啟用時間	2004/05	每日處理量	120CMD
構造資料	濕地類型	SSF-FWS-SSF		
	濕地面積	人工濕地總面積 1000m ² ，其中 FWS 系統 600m ² ，SSF 系統 400m ²		
	介質材料	卵石、水產廢棄物、土壤		
	構造及底材	不透水布、RC		
	污水種類	生活污水		
	排放水再利用	無再利用		
	日照條件	全日照、八小時日照		
問題發掘	人工濕地使用現況	目前人工濕地狀況堪稱良好，但是 FWS 階段生物防制功能功能喪失，裡面有紅蟲、污水蠅及孑孓等污水指標生物存在，沒有大肚魚等，推估為食蚊魚死光光，但是在 FWS 末端排放點約十公尺處有大肚魚存在並沒有孑孓，因此水質問題影響魚存活。		
	維護管理現況	具有專業維護管理人員（二行社區人員幫忙）		

圖 2-24 竹溪人工濕地一隅



圖 2-25 竹溪人工濕地（往上游取景）



第三節 人工濕地現況調查結果

1. 人工濕地環境分析

本研究調查人工濕地案例均為近幾年所建（2001~2004），起啟用時間最早為二行人工濕地、最晚為竹溪人工濕地，雖然各人工濕地系統運作正常且穩定，但是與周圍生態環境可能並未達到穩定狀態。在各個案例中，所在環境位置不同，其週邊環境豐富度亦影響，以光華女中及二行社區而言，光華女中位於台南市區，周圍綠地環境較少無法提供生物成長腹地，其濕地生物主要以建造初期人為放養為主，較少生物遷徙來此；二行及灣裡人工濕地位於台南市郊，旁邊腹地多為魚塢、農田，生物於此環境棲息覓食數量多。成大校園、東寧運動公園及體育公園等提供生物棲息腹地，因此生物種類亦較豐富。

系統類型及面積大小對於生物引入有影響，濕地系統面積較大且周圍環境水域面積大者，可以吸引水鳥及高級消費者進入。成大、灣裡、二行及竹溪人工濕地都記錄到水鳥及大型鳥類（白鷺鷥、鷹類），其原因為擁有較大棲地及附近水域（竹溪、魚塢、湖泊等）提供生物生存。

表 2-7 人工濕地環境現況調查表

案例	人工濕地類型	系統面積	污水來源	日處理量	日照	週邊環境資源
成大人工濕地	SSF ┌ FWS └ FWS	144 m ² FWS108 m ² SSF36 m ²	校園生活 污水	3-5CMD	全日照	豐富
光華人工濕地	FWS-SSF-FWS-SSF	55m ²	校園生活 污水	1- 2CMD	全日照	貧乏
小灣裡人工濕地	FWS-FWS-SSF	300m ² FWS200m ² SSF100m ²	生活污水	10-20CMD	全日照	豐富
二行人工濕地	FWS-SSF	400 m ² FWS300 m ² SSF100 m ²	生活污水	40-80CMD	全日照	豐富
東寧人工濕地	FWS	90m ²	生活污水	未知	全日照	豐富
竹溪人工濕地	SSF-FWS-SSF	1000m ² FWS600m ² SSF400m ²	生活污水	120CMD	全日照	豐富

2. 構造型式

人工濕地淨化污水為避免未淨化完成的水滲入土壤下層，系統設置的土壤性質應以滲透係數小為主，亦可在建造初期以夯實等手法降低滲透性，若濕地規模不大，可選用不透水布等材料隔絕。本研究選擇調查對象濕地系統面積屬於中小型人工濕地，面積最大者為竹溪人工濕地，其構造及底材為不透水布外部結構以紐澤西護欄（RC 構造）支撐設置於河川高灘地臨時設施，方便未來停用時拆卸，而東寧及成大人工濕地亦有使用 RC 構造，東寧人工濕地設計其目的為絕對隔離污水與土壤接觸，而成大人工濕地於景觀生態水池部分以 RC 構建，其原因為建築系大樓基柱位於生態水池旁邊，由於結構考量故以 RC 來構建。其餘案例構造及底材為鋪設不透水布，並以砌空心磚等營造多孔隙空間。

人工濕地介質材料以卵石為主要填充材質，並加入土壤以利水生植物生長。其他介質材料填充例如以水產廢棄物、爐石、建築廢棄物等，其目的為廢棄物回收再利用。

表 2-8 人工濕地統構造形式表

案例	介質材料	構造及底材
成大人工濕地	卵石、爐石、水產廢棄物、土壤	人工濕地：不透水布、砌石 景觀生態水池：RC
光華人工濕地	卵石	不透水布、砌石
小灣裡人工濕地	卵石、土壤	不透水布、砌石
二行人工濕地	卵石、土壤	不透水布
東寧人工濕地	卵石、爐石	RC
竹溪人工濕地	卵石、水產廢棄物、土壤	不透水布、RC（澤西護欄）

3. 水質淨化效益及再利用情形

在調查案例中，成大、光華、二行及小灣裡人工濕地淨化效益普遍良好，淨化完成排放水多數成為設置景觀生態水池之補充水源，以創造生物棲地空間；藉由景觀生態水池提供排放水再淨化之後，則運用於該人工濕地園區草花樹木澆灌使用。

淨化處理水質效益不佳案例有東寧人工濕地，由於當初規劃設計之初，推測可能水力及系統估算錯誤，導致污水進流量過高，而導致水生植物（香蒲、莎草等耐污性高植物）無法負荷死亡，水中生物如魚類亦消失不見，整池水變成臭水，已於 2005 年 4 月停止進水。

竹溪人工濕地目的為淨化竹溪河川水質，因此並沒有加設其他水資源回收再利用設施，竹溪人工濕地為淨化台南市居民生活污水，在淨化完後直接排入河川內。

表 2-9 人工濕地水質淨化及再利用情形表

案例	淨化效果	再利用情形
成大人工濕地	良好 (BOD 去除率 85-95%)	生態水池補充水、澆灌
光華人工濕地	良好 (BOD 去除率 75-80%)	生態水池補充水、澆灌
小灣裡人工濕地	良好 (BOD 去除率 70-85%)	生態水池補充水
二行人工濕地	良好 (BOD 去除率 80-85%)	生態水池補充水、澆灌
東寧人工濕地	不佳 (未知)	生態水池補充水
竹溪人工濕地	良好 (BOD 去除率 70-80%)	無再利用

4. 人工濕地水生植物觀察分析

自然濕地系統不論水生植栽或生物種類都非常豐富，人工濕地水生植物類型不如自然濕地或生態水池多樣，因其進流污水濃度高，故選擇栽種水生植物應以耐污性高、生長迅速為第一優先考慮，所以本研究調查案例水生植物種類，多在 8~15 種左右，最多者為成大人工濕地 22 種，個案例生長狀況多為良好，其中東寧運動公園由於污水濃度過高，進流點部分植物有腐敗死亡現象；竹溪人工濕地表層流動系統部分，也因水質有異植物生長不佳。

水生植物種類多、各種類型齊全，可提升該基地生物歧異度，有助於物種繁殖，但過多種類水生植物維護管理較為麻煩。以植物採收整理而言，人工濕地植物種植後，多數可以很快的適應環境、形成群落，而適應不良的植物則會被強勢物種併吞，需倚賴人工將其清除，故需人工定期清除過盛植物。

表 2-10 人工濕地水生植物類型表

案例	水生植物				種類數	生長狀況
	挺水	浮水	漂浮	沈水		
成大人工濕地	12 種	5 種	4 種	1 種	22	良好
光華人工濕地	3 種	1 種	2 種	1 種	7	良好
小灣裡人工濕地	8 種	2 種	3 種	2 種	15	良好
二行人工濕地	3 種	4 種	4 種	1 種	12	良好
東寧人工濕地	6 種	1 種	3 種	0 種	10	進流點不佳、部分種類不佳
竹溪人工濕地	7 種	1 種	0 種	0 種	8	良好、FWS 部分不佳

5. 日常階段之操作維護管理

操作維護管理方面，大部分系統維護管理人員是採取放任讓其自然生長，於季節變化時，才定期進行採收過盛的水生植物及枯枝落葉。人工濕地水中植物生長快速，放任生長，淨化水質效益會降低。

本研究調查，成大、光華、灣裡、二行及竹溪人工濕地都有定期進行植物採收及維護管理。但是，除了成大及二行人工濕地維護管理制度有建立外，其餘人工濕地以季或一年兩次為單位清理，使人工濕地景觀顯的較為雜亂。

6. 小結

比較上述各人工濕地案例調查結果得知，人工濕地設立基地環境方面，面積較大、擁有腹地、周圍環境資源豐富為佳。水力及系統估算非常重要，人工濕地建立之初規劃及設計需謹慎考量，不是按圖索驥，例如東寧人工濕地即為設計不良的案例，其污水流量沒有控管且未裝設油脂節流設施，因此水中生物無法負荷導致死亡，面臨關閉停止進水的窘境。

操作維護管理部分，除了成大及二行人工濕地外，其餘人工濕地管理週期以季為單位進行，雖然大量減少人力及經費支出，但是面臨設備管線毀損、外來生物種類侵犯（福壽螺等）、周圍景觀雜亂、生長過盛植物腐敗落入水中造成二次污染等問題卻無法及時排除，實為人工濕地一大隱憂。成大及二行人工濕地投入較多人力（4-6 人），並定期檢查維護，發生問題能迅速排除，實為較佳且有效管理人工濕地的方法。

第四節 人工濕地維護現況問題與檢討

1. 構造型式不良或施工品質不佳

(1) 系統規劃設計與建造，乃至日常階段維護管理缺乏有效連結

設計人工濕地從基地選址、水力估算、系統設計施工及日常階段操作維護管理，應該按照計畫進行。但設計者通常無法對周圍環境作進一步生物調查，而以能淨化多少污水角度去思量，無法瞭解該人工濕地的潛力及限制，對於後續維護管理較為不利。

(2) 人工濕地建造面積大小，影響生物棲息及數量多寡

建造面積較大，可以吸引水鳥及高級生物消費者進入。生物本身有特定的活動空間範圍，大型生物所需活動空間及覓食範圍亦較大，若人工濕地本身建造面積較大，其可以吸引生物種棲息及數量也會隨之增加。

(3) 各人工濕地之間缺乏交流及聯繫

目前各人工濕地皆為獨立的個體，很少有與其他人工濕地進行交流，許多經驗無法分享，實在相當可惜。事實上，交流聯繫並不一定是設計參數等研究交流，由於台灣人工濕地起步較國外稍晚，雖有國外操作管理方法可以參考，但並非完全適用於台灣環境，因此各人工濕地維護管理人員的交流就非常重要。此外，水生植物、水中生物若繁殖過剩且其他濕地缺乏亦可提供交換。

(4) 避免日照不足情形產生，建築物或喬木遮蔽應盡量減少

周圍環境若有建築物或較高大喬木遮蔽，對於水質淨化效果及植物生長會有直接衝擊。人工濕地屬於好氧的淨化系統，水中植物行光合作用所產生的氧氣對於濕地淨化有直接作用，在選擇建造位置時即應盡量排除設置於建築物旁邊，周圍若有大棵喬木也應納入考量，減少遮蔽情形產生。

2. 污水質量未評估及淨化速率估算錯誤

(1) 人工濕地水力及系統估算錯誤，導致淨化效果不佳

水力及系統估算是人工濕地成敗的第一要件，估算錯誤、污水進流量過高，而導致水生植物無法負荷死亡，水中生物亦會消失不見，整池水變成臭水。東寧人工濕地即是一個估算錯誤的失敗案例，已於 2005 年 4 月

停止進水。

(2) 病媒蚊及水媒致病菌防制方法

由所調查的案例來看，台南地區於冬季十一月開始，各人工濕地有蚊子的問題產生，進而觀測為食蚊魚減少及捕食量降低的原因所致，因此冬季會有蚊子產生，除了投入更大量的食蚊魚外，也應尋求其他解決辦法。

3. 日常階段經營維護管理

(1) 經營經費來源缺乏，無專人管理

人工濕地興建完成後除了當初規劃時有編列經費維護管理外，一般人工濕地並沒有固定的維護管理經費補助，其更缺乏專人管理，所以維護管理工作很少進行或者不定期有熱心社區民眾、學校師生自願幫忙整理，但此絕非長久之計。維護管理本身經費支出及所需人力缺乏，往往只能放任其自由發展，相對也影響到淨化品質及景觀美質。

(2) 維護管理人員認知及經驗傳承

人工濕地設計者、維護管理人員及交替的維護管理人員間的傳承很難銜接。設計者設計人工濕地污水質量評估、淨化速率估算、構造型式設計及施工等，維護管理人員並不一定都會參與，所以許多想法並無法與設計者理念相結合，導致設計者與維護管理人員認知上的不同，使人工濕地的管理原則完全不同，無法達成最佳淨化效果。

(3) 遭不明人士入侵破壞人工濕地

人工濕地屬於開放式的水域，經常會遭受人為入侵，常有有心人士進入濕地拔取植物、捕捉動物或到入不明化學液體，對於人工濕地本身造成極大的傷害。例如清潔公司地板打蠟或洗窗戶時不注意則將清潔劑倒入水中，會造成魚群暴斃死亡，應盡量避免。

(4) 外來生物放養問題嚴重

人工濕地若無設計管制進入措施，對於人為放養外來生物的管理上較為困難。例如校園環境或公園內的人工濕地，民眾假日休憩並把具威脅性的生物置入濕地中，維護管理人員並不能無時無刻看管，因此，若發現則會儘速宣導勸離，避免危害生態系統平衡。

4. 解說教育設計缺乏

(1) 缺乏解說設施及解說空間

基於公共衛生安全及維護管理的考量，且整體空間範圍限制，人工濕地往往無法提供解說設施及設置解說空間。因此，若無解說人員帶領，參觀者很難去瞭解、體會人工濕地的設計。

5. 小結

比較人工濕地案例調查結果得知，在設立基地環境方面，面積較大、擁有腹地、周圍環境資源豐富者為佳。水力及系統估算非常重要，人工濕地建立之初規劃及設計需謹慎考量，東寧人工濕地污水流量沒有控管且未裝設油脂節流設施，水中植、生物無法負荷死亡，面臨關閉的窘境。

操作維護管理部分，多數人工濕地管理週期以季為單位進行，雖然大量減少人力及經費支出，但是設備管線毀損、外來生物種侵犯、周圍景觀雜亂、生長過盛植物腐敗落入水中造成二次污染等問題無法及時排除，實為人工濕地一大隱憂。

第三章 人工濕地淨化效能維護管理

第一節 前言

大自然生態環境中，濕地是一種可以淨化水中污染物的系統，藉由水生植物的吸收、底泥及微生物的攝取與分解等方式，將有機污染物質去除，達到水質淨化的目的。

人工濕地(constructed wetland)是仿效自然濕地的淨化及生態保育的功能，應用自然淨化機制來處理污水，亦即將生態工程技術應用在污水或廢水的管理及處理上的一種自然淨化程序，人工濕地相較於傳統之廢污水處理系統，顯現其具有省能源、省資源、低成本、無二次污染、操作維護簡便等優點，本身又能提供生態棲息空間、生態復育、增添自然景觀、凝聚居民意識等功能。因此，人工濕地在水資源回收再利用的技術考量上，是一個具有經濟效益，且值得研究探討其應用價值的議題。

根據美國環境保護署 (U.S. Environmental Protection Agency) 整合其國內人工濕地的成果，發行了有關於人工濕地設計準則與手冊。同時也公佈了十七個自 1970 年代開始實際應用於污水防治實例，這十七個實例均以處理社區污水為主要目標，淨化成果良好，而且系統經過了二十餘年後仍可持續運轉，究其成功之因，不外乎設計階段審慎的設計評估及日常使用階段完善的維護管理計畫所致。

由於台灣地窄人稠，不若歐美地廣人稀之地區，可以在設置人工濕地後放任濕地自然演替，並以廣大面積來彌補單位淨化效能下降之弊。講究淨化性能的人工濕地必須關注自然淨化程序是否持續運轉。適時的操作與管理，可以讓人工濕地保持淨化較高的淨化效益，且延長人工濕地使用壽命。日常階段維護管理是否落實，不只影響人工濕地的淨化效能，更可能會造成環境二次污染，影響公共衛生安全。

淨化效能為處理型人工濕地的首要目標，對於淨化效率的確保，除正確的水力估算與流程設計及落實施工品質之外，更重要為日常階段維護管

理工作進行，才可以確保人工濕地長遠的淨化效能。維護管理計畫依照人工濕地提供的功能及其容易面臨問題加以分類，大致可分為『淨化效能維護管理』、『生態環境維護管理』及『公共衛生維護管理』如後所述。

第二節 啟動期與穩定期維護管理

1. 人工濕地系統啟動期

啟動期 (the start-up phase) 是人工濕地系統建造過程必經階段。當系統處於啟動期階段，其淨化性能尚未完全建立或趨於穩定，對於各項污染物淨化效能無法與穩定期 (the steady phase) 相提並論。

淨化系統的啟動適應期長短之關鍵因子，是由填充物(土壤或其他介質)、水生植物、微生物和操作時間所組成與影響。在國外文獻方面，美國建立人工濕地具有啟動期短的特點，其從幾週到幾個月都有(IWA, 2000)。

在污水進流操作上，新建立之濕地在挺水性水生植物種植後，應緩慢逐步提升水位至設計水深高度，以避免挺水植物無法適應環境劇變而死亡。建議在種植挺水性水生植物應有二週之調整水位適應期(浮水性水生植物則無此顧慮)。在污水水力負荷方面，應由原設計每日處理量的 1/3 以下水量，開始逐步提高進流量至設計處理量，這段水量調整期間在夏季約為兩週，在冬季約需一個月。

2. 人工濕地系統穩定期

人工濕地系統的穩定期，根據相關文獻研究顯示，在表面自由水層流動式系統(FWS)大約需要二至三個月時間，而在表層下流動式系統(SSF)只要一個月即能進入穩定期。人工濕地在穩定期後的排放水，可以考慮水資源再利用。而水質標準應符合國家各項檢測水質標準，以確保無二次公害污染問題。

第三節 水質檢測維護管理

人工濕地進行週期性物理性水質檢測，其目的在於了解淨化性能是否依據當初設計之效能，據以判斷濕地淨化系統是否正常運轉，以確保去污性能。尤其是污水經過人工濕地淨化以後，水資源回收再利用考慮時，應檢討是否符合相關法令標準，以免觸犯相關法令（表 3-1）。此水質檢測的意義在於確保水資源再利用時，不會對於承受水體或土壤環境生態形成負面影響。

表 3-1 我國各項排放水質及水資源再利用標準

項目 法令	建築物污水 處理設施放 流水標準 (92年)	陸域地面水體水質 (87年)		灌溉用水標準 (92年)	土壤處理標準 (施灌花木) (93年)
		丙類	丁類		
水溫 (°C)	38	-	-	35	35
pH (無單位)	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0
DO (mg/L)	-	4.5 以上	3.0 以上	3.0 以上	-
導電度 (µS/cm25°C)	-	-	-	750	-
TSS (mg/L)	30	40	100	10	30
BOD ₅ (mg/L)	30	-	-	-	30
COD (mg/L)	100	-	-	-	100
NH ₃ -N (mg/L)	-	0.3	-	-	-
TN (mg/L)	-	-	-	3.0	15
TP (mg/L)	-	-	-	-	2
總大腸桿菌群 (CFU/100ml)	200,000	10000	-	-	200

本研究整理，表列項目並未完全。

說明：

1. 丙類：適用於三級公共用水、二級水產用水、一級工業用水、丁類及戊類。
2. 丁類：適用於灌溉用水、二級工業用水及環境保育。
3. 三級公共用水：指經活性碳吸附、離子交換、逆滲透等特殊或高度處理可供公共給水之水源。
4. 二級水產用水：在陸域地面水體，指可供鯉魚、草魚及貝類培養用水之水源。

5. 一級工業用水：指可供製造用水之水源。
6. 二級工業用水：指可供冷卻用水之水源。
7. 戊類：適用環境保育。

1. 物理性水質檢測

在物理性檢測項目有水溫、溶氧(DO)、氫離子濃度(pH)及導電度(EC.)等項目。關於水溫方面，人工濕地在外氣溫高的季節(如夏季)，水溫也會呈現較高。一般而言，水溫高，生物反應速率較快，淨化效能明顯上升。反之，在低水溫(如冬季)環境下，淨化效能較低。我國相關法令限定排放水水溫，在夏季不得超過 38°C；在冬季不得超出 35°C。

在溶氧方面，人工濕地當作生活污水二級處理設施，用以輔助化糞池或複合式污水處理槽。根據成功大學建築研究所的研究顯示，一般傳統化糞池之淨化性能不彰，其排放水大多不符環保法令。這些淨化未完全的生活污水，水中有機污染物尚多，微生物在分解污染物過程耗掉大量水中溶氧，造成放流水水中溶氧低於 1mg/L。而人工濕地承接化糞池排放水，濕地前端必然處於低溶氧狀態，這種低溶氧環境，不利於魚類及其他水生動物生存。相對的將出現一些屬於水質重度污染指標的生物出現，例如污水蠅、管尾蟲、紅蟲等。隨著水質淨化，在人工濕地末段之溶氧，由於污染負荷大幅減少，且水生植物行光合作用，將會大幅提高水中溶氧。

在 pH 值方面，根據文獻(歐文生，2005)得知生活污水在經過一級處理設施處理排放，其水質 pH 值約為 8.1±0.2。進入人工濕地後，可能由於硝化作用與其他氧化反應使得 pH 值下降，出流水 pH 平均值約降為 7.7±0.2。

在電導度方面，由於水質淨化結果，電導度應低於「灌溉水水質標準」之 750 μ mho/cm 限值，方可論及水資源再利用。

2. 化學性水質檢測

在化學性檢測項目，有總懸浮固體(TSS)、總氮(TN)、總磷(TP)、生物需氧量(BOD₅)及化學需氧量(COD)等主要項目。

關於總懸浮固體方面，人工溼地中的 TSS 可透過植物體的過濾以及流速減緩而沉降(IWA, 2000)。根據國內文獻顯示，人工濕地對於 TSS 平均

去除效率均有 70%以上之去除效能；在 BOD₅ 及 COD 方面，平均去除效率分別有為 70 及 50%以上之去除效能。在 TN 及 TP 方面，平均去除效率均有為 40%以上之去除效能。一般而言，人工濕地設計之初，在淨化功能估算階段可以準確預測進出流水質差異，以及去除效率。

水質檢測結果應詳加記錄（表 3-2），並與原設計淨化效能作比較，以確保濕地系統之正常運轉。

表 3-2 人工濕地水質檢測記錄表

水質檢測地點：	水檢測日期：		
水質檢測時間：	該時天氣情況：		
檢測項目	進流端	排放端	去除效率
溫度 (°C)			
pH (-)			
溶氧 DO (mg/L)			
導電度 E.C. (μ mho/cm)			
濁度 (NTU)			
總懸浮固體 TSS(mg/L)			
生物需氧量 BOD ₅ (mg/L)			
化學需氧量 COD(mg/L)			
總氮 TN(mg/L)			
總磷 TP(mg/L)			
其他			
進流水表水量 (m ³)			
出流水表水量 (m ³)			
污水進流狀況是否異常			

第四節 系統操作維護管理

1. 擬定水質監測週期

採樣監測點的設立，位於人工濕地主要結點處，如進流點及排放點，若人工濕地分為數池，亦可於各槽體進流點、排放點及中間點處設置採樣監測點，以利檢測作業進行。

水質採樣週期依照編列的水質檢測費用預算進行檢測，於人工濕地完工啟動期間，得採樣最小週期為一每個月一次；當人工濕地水質淨化能力以達穩定，則可以季或半年為單位進行水質檢測認證作業，以確保污水淨化水質安全。

人工濕地興建完成之初，其進留污水量較低，主要是用於培育水生植栽，於啟動期開始可以進行各項水質檢測採樣工作。以成大人工濕地而言，採樣頻率為每週一次，時間約為當天上午 10~12 點，採樣水質除了現場檢測作業外，另外也委託嘉南藥理科技大學進行實驗室檢測作業。水質監測依據建築物污水處理設施放流水標準、陸域地面水體分類及水質標準、灌溉用水水質標準、土壤處理標準（施灌花木）等相關環保法令檢驗是否符合標準，若未達到標準應研究是否降低水力負荷，減少污水濃度流入過多，避免水質過度惡化。

圖 3-1 水質檢測情形



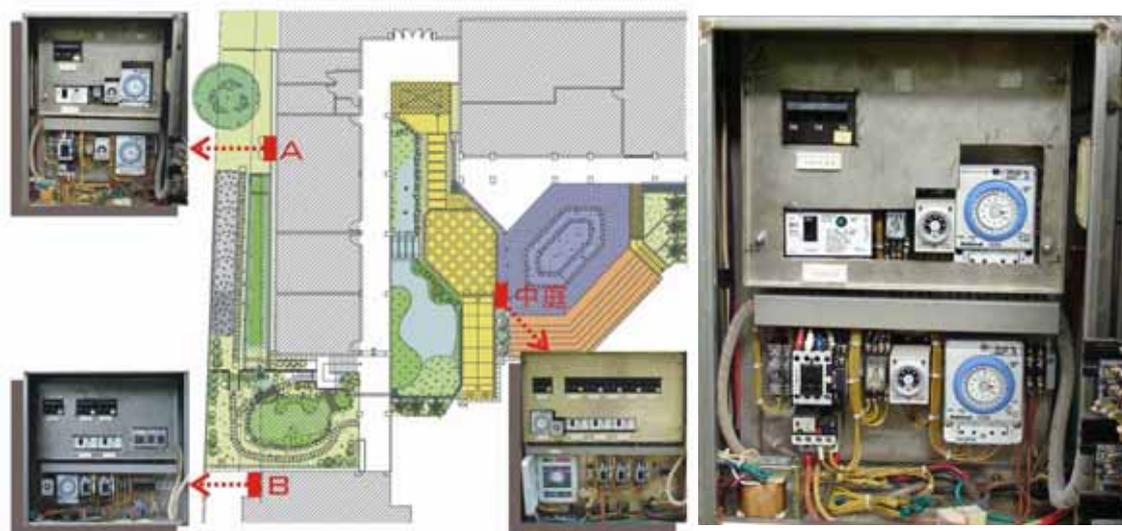
2. 確保淨化效能

污水進流水量是控制人工濕地運作及淨化效益的重要操作條件之一。

以成大人工濕地系統而言，其進流水量控制，是以時間控制裝置調節抽水時間，以調節進流水量。而一般人工濕地常見進流水量控制裝置亦有以流量計直接計算控制進流水量，維護管理人員可直接由流量計數據得知當日人工濕地進流水量及排放水量，以確保人工濕地可正常收集污水。

每週應定時檢測進流水、排放水及控制盤操控裝置是否有正常運轉，維護管理人員於觀察進流水量同時，注意進流端的污水進流情形，當被異物堵塞（枯枝、落葉、藻類等）會影響流入水量，應將其移除，避免堵塞影響水質淨化。

圖 3-2 人工濕地控制操作盤



3. 觀測水深及水流

人工濕地系統於興建之初水深及水流設計已定，由於人工濕地系統估算設定，水力停留時間都很長，所以水流的觀測不易；而水深觀測方面，人工濕地的淨化槽體可能因設計考量分成數池，各淨化槽體間是以連通管控制水的流動，因此，維護管理人員只要記錄進流點或排放點處設置的水位量尺，即可得知水深及水流狀況。

以成大人工濕地由於基地環境位置的關係，水位變化一天高低差變化最高可達兩公分（人工濕地 B 池部分為風道，蒸發散速率驚人），以成大

人工濕地總面積約 100m² 而言，一天雖打入 3t 的生活污水，但經過濕地系統水位減少可得知一天減少收集到的水平均約少 1t，雖然用於澆灌建築系中庭園區使用綽綽有餘，然而若於學校暑、寒假或冬季、乾季枯水期時，澆灌用水大幅減少不容忽視，因此定時澆灌系統應是季節氣候情形調整澆灌水量及週期，成大人工濕地於夏季水量收集較多時一天可進行澆灌三次，而冬季為國內南部地區乾季，進流量也較少，澆灌時間減少並將次數由三次調整為兩次。

4. 基本設備管線維護

人工濕地不需要鋼筋混凝土槽體或機房設施，也不耗用大量的電力去推動抽水幫浦、鼓風機、污泥脫水機、攪拌機等設備，其所需設備管線僅有濕地進流點處、各槽體連通處、迴流設施及水質檢測點，故維護管理人員只要針對上述幾處檢修即可。設備管線維修主要為定期檢查，每季檢修即可。

表 3-3 人工濕地與傳統污水處理技術比較

項目	人工濕地	傳統污水處理技術
結構	自然窪地 土地開挖	鋼筋混凝土 機房設施
機械設備	抽水泵浦數個	多個抽水泵浦、鼓風機、散氣設備、污泥脫水機、加藥泵浦、攪拌機、攔污柵、過篩機、機電控制設備
能源需求	抽水一次動力	大多數單元需動力
操作維護	非專業人員 植物採收	廢水處理專員、設備維修、操作參數及條件監控、活性污泥問題與對策、污泥處置

5. 緊急停止進流步驟

(1) 濕地淨化功能異常

指系統無法有效的處理進流水質，即淨化效益降低，無法達到法令放流水標準時，應減低水力負荷或直接停止進水。而重新進水時應注意不可一次將進流量提高過多，應逐步增加污水量，避免水中生物、植物無法

負荷導致死亡。

(2) 水體被置入具毒性異物

水域可能由於人為不當操作，導致有毒異物流入水中危害生物，例如清潔劑、地板打蠟或不當噴灑殺蟲劑等，對濕地生態造成嚴重影響，停止進水並檢討使受污染的水體對生物傷害減至最低。

(3) 水位異常狀況（驟降或急升）

濕地水域因日曬而蒸發的水會使整個濕地水深每日下降一公分，因此人員於每日固定時間應檢視水位深度，若深度落差過大（超過五公分），則應停止進水，檢討是否為設備管線問題或是氣候問題影響，若為設備管線問題，應檢查是否有槽體破裂或管線毀損導致漏水，找出問題並解決；氣候因素影響為自然因素，故無法避免，管理人員可以定期記錄，調查濕地季節性因素而減少水量的關係。

(4) 水過度混濁

當水體過度混濁時，應先停止進流水，讓水體有充分時間自淨，使沈澱物質下降，濕地會自動恢復原貌。若遭異物污染，應該要找出污染源，並移除污染源。

圖 3-3 觀測進流、排放水情形



圖 3-4 水位異常降低



圖 3-5 水質惡化導致植生物死亡



圖 3-6 暴雨導致水體過度混濁



圖 3-7 定期進行水質檢測



圖 3-8 水質檢測採集水樣



建築基地保水貯集技術設計規範與法制化研究
子計畫：人工濕地公共衛生暨維護管理之研究

第四章 人工濕地生態環境維護管理

第一節 人工濕地生物初期引進計畫

4-1-1 人工濕地常見水生植物介紹

人工濕地為利用自然生態環境的淨化機制及相關的生物成員（水生植物及微生物），並且在人為控制下強化其污染物的去除能力（林瑩峰、荊樹人）。因此水生植物對人工濕地而言是一個重要的元素，水生植物所面對的生活環境並不相同，有些會沈浸於水中或漂浮於水面，有些則會將其莖葉部分聽出水面生長，或植物體完全暴露於大氣中。植物可以依照其生活的位置跟生活習性來加以區分為挺水植物型、浮水植物型、浮葉植物型及沈水植物型等。以下為水生植物分類型態介紹：

1. 挺水植物型(emergent macrophytes)

挺水植物為的生長環境非常多元性，生長位置通常為岸邊或水位較淺處，根為生長於土壤裡，但葉片及莖卻挺出水面。莖與落葉等提供微生物附著生長與所需的碳源、水流流經介質與植物的根區，藉此讓微生物分解有機物、脫氮等，同時介質亦可吸附磷及重金屬等。常用的水生植物有蘆葦類(*Phragmites* spp.)、香蒲類(*Typha* spp.)等。

2. 浮水植物型(Floating macrophytes)

漂浮植物的植物體通常較為小型，不過繁殖迅速，其根生活在水中，隨水四出漂流。可抑制水中藻類的生長，同時降低水面的擾動；根部可以降低水平流速有助於顆粒的沈降，同時也會吸附污染物並提供生物膜生長等等。常用的水生植物有布袋蓮(*Eichhornia crassipes*)、浮萍(*Lemna* spp.)、水芙蓉(*Pistia stratiotes*)等。

3. 浮葉植物型(bottom-rooted floating rophytes)

浮葉植物的根、莖葉片為著生於泥底中，而葉片漂浮與水面上，葉子通常成寬大圓形、心形或橢圓形，多數的浮葉植物都具有發達的沈水葉，以便適應環境，如蓮花類(*Nymphaea* spp., *Nelumbo* spp.)等。

4. 沈水植物型(submersed macrophytes)

只能存活在水中具有溶氧的條件下，不適合處理含有屬於高生物分解性之有機物及高濁度的廢水，白天行光合作用消耗水中可溶性無機碳並增加溶氧，結果將使水中 pH 值上昇而可能形成利於氨氮揮發與磷沈澱的條件，水中溶氧的提高亦有助於有機物的礦化。營養鹽主要累積在植物根部與附著生長的微生物中，老化脫落的葉片釋出的營養鹽會立即被微生物所吸收，只有少部分會累積在沈積碎屑裡。

人工濕地常用的水生植物如下：

1. 耐污性強水生植物

<p>袋布蓮 <i>Eichhornia crassipes</i></p> 	<p>科名 雨久花科 Pontederiaceae 別名 水風信子、鳳眼蓮 用途 庭園濕地、水池美化，用於清除化學廢料。 特徵 多年生草本，浮水性水生植物。葉根生，葉成倒卵形或菱形，葉柄海綿質，生於泥地無膨大，浮於水面者有明顯膨大。總狀花序，花淡紫色，其中一枚中央有黃斑。</p>
<p>香蒲 <i>Typha latifolia</i></p> 	<p>科名 香蒲科 Typhaceae 別名 水燭、水蠟燭 特徵 多年生挺水草本，植株可達 2 公尺。地下莖陸、日本、台灣水生沼澤地。 用途 公園、校園等，葉直立，線形，葉長 50~100 公分，寬 2~3 公分，基部成鞘狀抱莖。圓形穗狀花序似蠟燭。</p>
<p>大萍 <i>Pistia stratiotes</i></p> 	<p>科名 天南星科 Araceae 別名 水蓮、水芙蓉 用途 公園、校園、庭園水池及濕地極佳的植栽。 特徵 水生，漂浮性，簇生形觀葉植物，葉薄肉質，葉片成倒卵形至扇形，葉全緣波狀，無柄，平行脈，葉背成淺灰綠色。</p>

<p>輪傘莎草 <i>Cyperus alternifolius</i></p> 	<p>科名 莎草科 Cyperaceae 原產地 馬達加斯加。 用途 公園、校園及濕地極佳的植栽。 特徵 多年生草本植物，可種在水中或土內，株高 40~100 公分。單葉叢生，葉線形，葉長 10~20 公分，寬 0.5~1 公分，葉全緣，革質。</p>
<p>空心菜 <i>Ipomoea aquatica</i></p> 	<p>科名 旋花科 Convolvulaceae 別名 蕹菜 用途 可供食用。 特徵 多年生草本浮水性植物。莖中空有節，葉互生，葉長 6-11 公分，寬 2-4 公分，有柄，花為紫色或白色。</p>
<p>聚花草 <i>Floscopa scandens</i></p> 	<p>科名 鴨拓草科 Commelinaceae 原產地 台灣南部低海拔山區。 特徵 多年生挺水性植物。匍匐莖，葉互生，葉長 5-7 公分，寬 1-2 公分。</p>
<p>培地茅</p> 	<p>科名 <i>Vitiveria zizanioides</i> 別名 香根草、奇蹟草 特徵 可適合土壤質地非常廣泛，沙地、壤土、黏土或水中皆可以生長。</p>

2. 一般型水生植物

<p>台灣水龍 <i>Ludwigia x taiwanensis</i></p> 	<p>科名 柳葉菜科 Onagraceae 別名 黃花水龍 用途 庭園濕地、水池美化。 特徵 多年生草本，挺水性水生植物，莖節有時具有白色器囊增加浮力。葉互生，卵狀長橢圓形葉，葉長 3~6 公分，全緣。花冠黃色，開花不結果。</p>
<p>水丁香 <i>Ludwigia octovalis</i></p> 	<p>科名 柳葉菜科 Onagraceae 用途 水路兩棲，常用於庭園濕地、水池美化。 特徵 一年生或二年生灌木，挺水性水生植物。莖有稜，全株披細毛。葉互生，線形或披針形，葉長 4~10 公分。花冠黃色，花瓣 4 枚。</p>
<p>小荇菜 <i>Nymphoides coreana</i></p> 	<p>科名 睡葉科 Menyanthaceae 用途 庭園、公園校園之綠美化。 特徵 多年生草本，單葉成心形或腎形漂浮於水面，葉柄很長，葉背淡紫紅色。花小形集生於莖節上，離水面開花，花冠 5 裂白色，近基部黃色。</p>
<p>鴨舌草 <i>Monochoria vaginalis</i></p> 	<p>科名 雨久花科 Pontederiaceae 別名 鴨嘴菜、福菜 用途 庭園濕地、水池美化，可當蔬菜食用。 特徵 一年生水生草本。水中葉線形或匙形，水上葉狹披針形或卵狀披針形，葉柄基部鞘狀。總狀花序，花被 6 片，紫藍色。</p>

<p>台灣萍蓬草 <i>Nuphar schimadai</i></p> 	<p>科名 睡蓮科 Nymphaeaceae 用途 公園、校園、庭園水池及濕地極佳的植栽。 特徵 多年生草本，浮葉性水生植物，葉柄很長，葉成心形，葉長 8~15 公分，表面光滑，背面有毛。花瓣退化成小長方形，花萼片 5 枚似花瓣，成金黃色。</p>
<p>青萍 <i>Lemna perpusilla</i></p> 	<p>科名 浮萍科 Lemnaceae 別名 水瓢、綠米、卵萍 用途 青萍也是家禽及魚兒的天然飼料。 特徵 一年生浮水性草本。葉 2~4 片合生，卵形，葉長 0.2~0.4 公分，寬 0.1~0.3 公分，葉正面凸出或扁平呈淺綠色，基部具有翼狀鞘。</p>
<p>粉綠狐尾藻 <i>Myriophyllum aquaticum</i></p> 	<p>科名 小二仙草科 Haloragidaceae 別名 羽毛草、大聚藻 用途 水族箱觀賞用，水池植栽。 特徵 多年生挺水或沈水草本植物。水中的莖有許多分枝。葉 5-7 枚輪生，成羽狀，葉小針狀，綠白色。適應力強，能夠生活在各種不同環境中。</p>
<p>香菇草 <i>Hydrocotyle vulgris</i></p> 	<p>科名 繖形科 Umbelliferae 別名 香菇錢 用途 栽培觀賞用，常用於水池水景配置。 特徵 多年生叢生水生植物，傘狀葉，葉柄接於葉中心。花黃綠色，性喜溼地之泥質土壤，以走莖繁殖居多。</p>

<p>葶藶 <i>Eleocharis dulcis</i></p> 	<p>科名 莎草科 Cyperaceae 用途 庭園濕地或水池美化。 特徵 多年生草本挺水性水生植物。株高可達80公分地下根莖橫走。葉片退化成膜質鞘狀。穗狀花序，頂生，圓柱形，花絲白色細長。</p>
<p>圓葉澤瀉 <i>Caldesia grandis</i></p> 	<p>科名 澤瀉科 Alismataceae 別名 寬葉澤苔草 用途 庭園濕地或水池美化。 特徵 多年生草本挺水性水生植物。葉叢生，扁圓形，葉長4-9公分，寬4-8公分，有長柄。花白色，匙形。</p>
<p>大安水蓴衣 <i>Hygrophila pogonocalyx</i></p> 	<p>科名 爵床科 Acanthaceae 原產地 台灣特有種，分佈於中部沿海地區。 特徵 多年生挺水性植物。植株高50-150公分，葉對生，長披針形，葉長5-15公分，寬2-4公分。花為淡紫色生於葉腋。</p>
<p>槐葉蘋 <i>Salvinia natans</i></p> 	<p>科名 槐葉蘋科 Salviniaceae 原產地 台灣北部低海拔山區。 特徵 多年生浮水性植物。葉對生，長橢圓形，葉長1-1.5公分，寬0.5公分。</p>

4-1-2 人工濕地常見魚類介紹

人工濕地生物防治方法運用在魚的方面，主要是以魚控制水中子子數量及藻類數量。本研究針對魚種不同食性及耐污程度將其放養至濕地各池，實際瞭解各類魚種生存狀況及生活環境。以下為捕食子子及減少藻類產生魚種介紹：

1. 捕食子子魚種

	<p>蓋斑鬥魚 學名 <i>Macropodus opercularis</i> 別名 台灣鬥魚、三斑菩薩魚 原產地 原分佈於越南北部、中國、台灣、沖繩等地 用途 觀賞養殖，有防止蚊蠅孳生的功能 特徵 繁殖期雄魚有築泡巢及照顧子代的行為。具有迷器來幫助呼吸，可以直接和空氣中的氧氣進行氣體交換 主要棲息於低海拔的平原緩流區或湖沼、池塘及稻田等靜水域中，能耐低溶氧環境。雜食性，以浮游動物、水生昆蟲幼蟲或藻類等為食。</p>
	<p>三星鬥魚 學名 <i>Trichogaster trichopterus</i> 別名 三星攀鱸、三星萬隆 原產地 分佈於泰國、馬來半島及婆羅州等淡水水域中 用途 觀賞養殖，有防止蚊蠅孳生的功能 特徵 主要棲息於河流緩流區或水草茂盛的沼澤區或溝渠，以及河口域中，能耐低溶氧環境。以浮游動物、昆蟲幼蟲為食。繁殖期雄魚有築泡巢及照顧子代的行為。具有迷器來幫助呼吸，可以直接和空氣中的氧氣進行氣體交換</p>
	<p>大肚魚 學名 <i>Gambusia affinis</i> 別名 大肚子、食蚊魚 原產地 原產於北美洲及中美洲的淡水系，約於 1913 年引入台灣。 用途 有防止蚊蠅孳生的功能 特徵 表層魚類，大多成群地在水體的表層活動。偏好在低海拔溪河的緩流區，以及湖泊、田間、渠道等棲所，亦可進入河口域。對於環境污染的耐受力強，可以在污染的水域或低溶氧的環境下生存。雜食偏肉食性，以浮游動物為食。</p>

2. 食藻類魚種

 <p>出處：台灣魚類資料庫 http://fishdb.sinica.edu.tw/2001new/main1.as</p>	<p>鯽仔</p> <p>科名 <i>Carassius auratus auratus</i></p> <p>別名 土鯽</p> <p>原產地 原產於中國大陸及日本，早期移民即引進至台灣。</p> <p>用途 為普遍的食用魚，有食藻的功能。</p> <p>特徵 初級淡水魚。本種魚適應力強，在各種類型的水體皆能存活，而以水草雜生與泥質淺水域最多。生性敏感而警覺性高。為雜食性魚類，幼魚以浮游動物為主食，成魚則以植物碎片、藻類、腐殖質或底棲甲殼類為食。</p>
 <p>出處：台灣魚類資料庫 http://fishdb.sinica.edu.tw/2001new/main1.asp</p>	<p>摩利魚</p> <p>科名 <i>Poecilia latipinna</i></p> <p>別名 茉莉</p> <p>原產地 原產於北美洲的加州北部至墨西哥等地。</p> <p>用途 耐污能力強，主要用以藻類及有機碎屑。</p> <p>特徵 棲地多樣化，舉凡淡水流域、湖沼、溝渠，溪河下游的緩流區及沼澤、田渠等棲所，也出現在河口的半鹹淡水域，甚至沿岸海域。耐污能力強，能在低溶氧的水域下存活。主要以藻類及有機碎屑為食。</p>

4-1-3 人工濕地其他生物引進

人工濕地其他生物引進以周圍腹地環境常見生物為主，由於藉由生物自行遷徙的關係，一般人工濕地由開始興建初期施放的魚類及水生植栽培外，並無施放其他水中生物進入，到經過一段時間生態系統較穩定，也逐漸吸引許多生物前來棲息定居。

目前人工濕地常記錄到生物，兩棲動物出現以無尾目黑框蟾蜍、澤蛙為等代表；昆蟲部分常見有：猩紅蜻蜓、藍長腹細蟪六點狼蛛、狡蛛等水棲昆蟲；而原先在人工濕地啟動期出現之污染指標生物，如紅蟲、管尾蟲、

扁泥蟲及污水蠅等，也隨著生物捕食而有大幅減少現象產生；人工濕地也提供鳥類棲息環境，除了一般常見陸域鳥種（白頭翁、綠繡眼、麻雀、斑文鳥等），亦有水生鳥類暫時性出現覓食（小白鷺、白鵝鴿）。對於整個濕地水域環境生物豐富、生態環境塑造有助益。

圖 4-1 猩紅蜻蜓



圖 4-2 藍長腹細蟳



圖 4-3 黑眶蟾蜍



圖 4-4 小白鷺



4-1-3 人工濕地生物調查方法

1. 鳥類調查方法

每一系統鳥類調查時間為每個月兩天。每天次的調查共有兩時段，分別於當日之 12:00~13:00 及 17:00~18:00(大部分鳥類為晨昏活動)各進行一次調查。每個系統每個月共有四筆鳥類調查資料。調查以定點為主，每個系統選擇一定點，先聆聽五分鐘以聲音辨識，紀錄所得鳥種及數量等級(I：單隻鳴叫，II：三隻以內鳴叫可計數，III：多隻鳴叫不可計數)，之

後定點以望遠鏡(Nikon 9x25)搜尋系統範圍，記錄所得鳥種及實際看見數量(表 4-1)，每次搜尋觀察十分鐘結束。則該月份系統鳥類之名錄為聲音辨識及定點觀察所得之總數。每月鳥類物種之數量則以 4 次目視計數的累計為該月之數目。

表 4-1 鳥類調查紀錄表

調查地點：		時間：	
調查人員：		開始時間：	結束時間：
物種	數量	棲地類型	備註(鳴叫計數等級)

2. 兩棲類調查方法

每一系統兩棲類調查時間為每個月兩天，每次於當日夜間 8:00 開始進行調查，每個系統，每個月共有兩筆兩棲類調查資料。調查以定點聲音辨識與穿越線調查進行，定點法為在每個濕地選擇一定點，先聆聽五分鐘以聲音辨識，紀錄所得兩棲類物種及數量等級(I：單隻鳴叫，II：三隻以內鳴叫可計數，III：多隻鳴叫不可計數)；之後沿固定之穿越線(穿越線如圖 4-5)路線，以手電筒照明，目視搜尋穿越線兩側一公尺範圍內兩棲類可能躲藏的地點，並錄音記錄所得物種、數量與全部調查時間，每個系統穿越線次調查時間均於 30 分鐘內；此外盡可能於調查時間內拍照紀錄第一次發現之物種。穿越線調查資料則以事後分析錄音帶並整理為表格為主(表 4-2)，為該月份系統兩棲類之名錄為聲音辨識及定點觀察所得物種之總數。每月兩棲類物種之數量則以 2 次目視計數的累計為該月之數目。

3. 爬蟲類調查方法

每一系統爬蟲類調查時間為每個月兩次，兩調查時間間隔 10 天，每天次於當日之 12:00~15:00 進行穿越線(各系統穿越線如 4-5)調查，於此時段內間每隔 30 分鐘進行一次調查，共調查三次，每次調查時間均於 30 分鐘內。穿越線調查如同兩棲類，沿固定之路線以目視搜尋，並記錄所得物種及數量；由於部分爬蟲類為夜行性(如大部分蛇類與蝎虎)，因此當天夜間進行另一時段穿越線調查。該月份系統爬蟲類之名錄為 12 次穿越線調查所得物種之總數，此外若於進行其他項生物調查時發現之物種亦列入名錄。每月爬蟲類物種之數量則以 12 次穿越線調查目視計數的累計為該月之數目。

4. 昆蟲與無脊椎調查方法

每一系統爬蟲類調查時間為每個月三次，三次調查日期間隔 6 天，每次於當日之 12:00~16:00(日行性)與 20:00~24:00(夜行性)進行調查。在兩調查時段內每隔 30 分鐘進行一次調查，各進行 3 次穿越線調查，每次調查時間為 60 分鐘，沿固定之路線(各系統穿越線如圖 4-5)以目視搜尋，每個月每個系統共計有 18 筆資料。調查時，記錄所能分辨物種並拍照記錄，無法辨識之物種則以掃網捕捉加以拍照以供查詢。該月份物種之名錄為 18 次穿越線調查所得物種之總數。每月物種之數量則以 18 次穿越線調查目視計數之累計為該月之數目。

表 4-2 昆蟲與無脊椎調查紀錄表

調查地點：		時間：	
調查人員：		開始時間：	結束時間：
大類	物種	數量	備註
蛛形目			
鱗翅目			
蜻蛉目			

半翅目			
鞘翅目			
雙翅目			
膜翅目			
蜚蠊目			
直翅目			
螳螂目			
其他			

5. 魚類調查方法

每一系統調查時間為每個月兩次，每次於當日之 12:00~14:00 進行調查。於調查時段內在各濕地隨機選定 5 個樣點，以直徑 30 cm，網目 4 mm 的撈網進行採集，每次將網深入水 10 cm，向前揮動 1 m，於一定點周圍撈取 2 次。此外，有些物種可直接由水面判定，卻撈不到則以目視直接計數，如黃鱮。撈取之後當場判定種類與記錄隻數。該月份物種之名錄為 20 次撈取所得物種之總數。每月物種之數量則以 20 次撈取所得之累計為該月之數目。

6. 底棲昆蟲與水生無脊椎生物調查方法

每一系統固定於每月中採集一次，採集方式以底泥採樣器(圖 4-6)取得樣本，採集所得之樣本置於孔目 0.5mm 之篩網去除泥沙，將篩網中剩下之樣品裝入盛有 70%酒精之標本瓶中帶回實驗室以解剖顯微鏡鑑定，物種分類至科。該月份物種之名錄與數量為採樣點所得物種之總數與總量。

圖 4-6 底棲生物之底泥採集器與篩網



7. 藻類與微小生物調查方法

依據環保署公告「湖河池泊水庫藻類採樣方法」(NIEA E504.41T)進行，每月每系統採集一次，所得樣品馬上進行鑑定，並不進行保存之步驟處理。

表 4-3 二行社區人工濕地生物調查表

調查地點：二行社區自然淨水系統			
大類	物種 總數	細項	物種名稱(學名)
鳥綱	8		紅冠水雞、灰頭鷓鴣、褐頭鷓鴣、紅鳩、白頭翁、麻雀、大捲尾、翠鳥
兩棲綱	3		澤蛙、黑眶蟾蜍、虎皮蛙
爬蟲綱	5		斑龜、雨傘節、印度挺蜥、多線南蜥、蝎虎
蛛形綱	11		茶色姬鬼蛛、簷下姬鬼蛛、偽黃金蛛、長圓金蛛、褐腹狡蛛、斜紋貓蛛、細紋貓蛛、擬環紋豹蛛、褐條斑蠅虎、綠鱗長腳蛛、前齒長腳蛛
昆蟲綱	11	鱗翅目	無尾鳳蝶、青帶鳳蝶、玉帶鳳蝶、孔雀蛺蝶、琉球紫蛺蝶、雌紅紫蛺蝶、黑點粉蝶、台灣紋白蝶、紋白蝶、荷氏黃蝶、白薯天蛾
	12	蜻蛉目	蜻蜓： 彩裳蜻蜓、杜松蜻蜓、侏儒蜻蜓、夜遊蜻蜓、褐斑蜻蜓、薄翅蜻蜓、猩紅蜻蜓、紫紅蜻蜓 豆娘 白粉細蟪、紅腹細蟪、青紋細蟪、橙尾細蟪
	23	螳螂目	大螳螂、小螳螂
		半翅目	黃斑椿、廣二星椿
		鞘翅目	錨紋瓢蟲、茄二十八星瓢蟲、六條瓢蟲、中華褐金龜、黑守瓜、黃守瓜、大黑星龜金花蟲、黑星筒金花蟲、甘薯龜金花蟲
		雙翅目	斑眼食蚜蠅、肉蠅
		膜翅目	變側異腹胡蜂、黃胸泥壺蜂、義大利蜂
		蜚蠊目	德國姬蠊、長鬚帶蠊
		直翅目	長頭蝗、斑蝗
		其他目	蠼螋

第二節 植物生態環境維護管理計畫

4-2-1 人工濕地植物採收功能

植物在人工濕地的淨化效能並不是佔最大宗，相關研究報告指出人工濕地水生植物的淨化功能約佔 30%，其餘水中微生物等為最多。然而，以景觀化人工濕地來說，人工濕地除了追求高效率的淨化成果外，其更應該具備有營造小生物棲地功能及植物綠美化等附加的功能。

人工濕地植物採收主要原因有以下幾點：

- (1) 減少枯枝、落葉掉入濕地，避免吸收的物質再度回到水體中，造成水質二次污染
- (2) 清除藻類及漂浮性水生植物降低優養化，且陽光與水體可直接接觸有助濕地系統水質淨化
- (3) 清除部分水生植物可以增加水中生物的活動範圍
- (4) 防止病媒蚊及致病菌繁殖滋生機會，植物採收可增加濕地水體與陽光接觸曝曬減少致病菌
- (5) 強調該地區景觀意象、景觀綠美化建立

4-2-2 人工濕地陸域植栽及周圍環境維護

人工濕地應賦予園區環境有更多元化的意義，例如：景觀綠美化的環境、多樣化的棲地空間、提供休憩、遊憩使用場所。陸域植栽與淨化效益無直接關連，但對使用者視覺景觀意象卻有極大之影響，維護管理人員應定期對植栽進行修剪，修剪完枯枝及落葉將其收集做進一步處理，採收的植物可作堆肥，另外也可以使用較大的枯枝堆砌，創造小型生物棲地空間，以利生物躲藏及繁衍。

1. 空心菜

空心菜是極耐污的水生植物，但生長過於快速，容易攀附在其他水生植物（如香蒲、蘆葦）上面，造成植物毀損且維護困難，應該減少栽種。

2. 野生藤蔓類

野生藤蔓類應給予適時的控制，當野生藤蔓隨著圍牆的攀附可以形成極佳的綠籬效果，而且，其生長的果實可以提供誘鳥；生長的葉可供蟲食，為食源所在。但是，當野生藤蔓類沒有控制在一定區域使其亂爬亂竄，容易造成其他植栽樹種無法吸收到充足的養分及陽光，而導致植栽死亡。

3. 常見先驅樹種

常見先驅樹種（如構樹、相思樹、血桐、木瓜樹）生長速度快，且並非長在固定區域，因此易妨礙濕地景觀綠美化，維護管理人員可依賴經驗評估，樹種是否應該移除，或者可以在不妨礙景觀美化的前提下使其生長。

4. 常見野花雜草

常見的野花野草通常以台灣原生種較為常見（如日日春、蒲公英、野萵、紫花霍香薊），其可以增加整個濕地環境的庭園造景，而植物的豐富且多屬原生種使濕地系統的生態更加豐富。在不妨礙人員使用及景觀美觀外，可以任其生長。

4-2-3 人工濕地水生植物採收管理

水生植物會因水質條件不同，而處於濕地水域不同位置。進流點處由於污水濃度高，必須栽植耐污性較高水生植物（蘆葦、香蒲、水芙蓉及布袋蓮等）增加淨化效益，防止污水進流濃度過高導致死亡；而其他區域隨著淨化過後污染水源濃度不斷減低，可種植多樣的水生植物，豐富濕地生態系統。

濕地植物生長會逐漸穩定，當生命週期到後期產生植株老化枯死現象，當殘株剝離掉落水中，會將吸收的物質再度排回水中，淨化效果相對減少，故應定期打撈維護水域環境整齊。除了殘株剝離要儘速撈除外，浮水性植物水面覆蓋度的控制也是非常重要，由於浮水性植物會漂浮的特性，因此，操作維護管理人員必須經常性的打撈過多的浮水性植物，以避免影響水流。也可以規劃浮水性植物專區，利用分區管制掌控浮水植物繁

殖。

採收裝備：

由於自然淨水系統以淨化污水為目標，進流於處理單元的水源來源為生活污水，因此在處理單元中進行各種動作時，均須考慮以公共衛生的問題，以避免在污水中的細菌對人體造成危害，其中，植物的採收為管理維護自然淨水系統時，最易直接接觸處理單元中污水的工作之一，因此進行系統水生植物的採收時，需考慮以下裝備：

- (1)連身漁夫裝
- (2)長型的橡皮手套
- (3)口罩
- (4)帽子

較為完整的裝備如圖 4-7、4-8 所示。另外，還可以視採收需要，準備鏟刀、大鏟子等採收工具。

圖 4-7 植物採收裝備（前）



圖 4-8 植物採收裝備（後）



採收方式：

採收時可以分組方式進行採收，以二行社區自然淨水系統累積之經驗，最適宜的採收編組方式一組三位工作人員，一位工作人員在處理單元中進行採收，另外一位工作人員在岸邊負責收集採收的植物殘體，另一位工

作人員將這些收集的植物殘體、採收物送至欲進行處理的集中地，如此採收將可非常迅速的進行(圖 4-9)，並且可以視處理單元的大小、植物的密集層度，以 2-3 組或更多的工作人員同時進行採收。

圖 4-9 分組進行植物採收工作 (採收→收集→運送)



水生植物採收作業可依種類分成三類：藻類及漂浮性植物等生長快速水生植物、挺水性耐污性高植物、一般性水生植物。三種植物的採收週期有所不同，其採收整理情形如下：

1. 藻類及漂浮性植物等生長快速水生植物

藻類及漂浮性植物其最大特色是生長非常迅速，人工濕地常見藻類有水綿、新月藻等；浮水性植物包括布袋蓮、水芙蓉等，其生長速度極快。藻類生長過多容易造成水華現象 (bloomng)，其有礙景觀且增添維護管理的負擔；浮水性植物過多將會遮蔽整個水域水面，水中無法照射太陽光，水中生物容易因缺氧死亡，而老化的漂浮性水生植物落入水中會增加水中污染濃度。

人工濕地於春夏兩季藻類繁殖速度異常的快，因此，採收清除作業兩週清除一次，當生長過於茂密也有一週清除一次；而藻類在秋冬兩季由於溫度及陽光等因素影響，藻類繁殖速度緩慢，其採收週期為兩到三週一次。每次採收清除數量為 70% ~90% (清除量 (%) = 清除植物面積 / 該植物總面積)，人工濕地藻類採收不建議全部清除，由於水中有飼養黑殼蝦及其他魚種吃食藻類控制速度，且蓋斑鬥魚及其他水中生物有許多是以

藻類為棲息生育環境，因此，撈除數量不宜過多。

漂浮性水生植物雖然生長速度快速，但四季植物生長情形較為穩定並無異常繁殖的情形產生，其為部分清除，週期約一個半月一次。漂浮性水生植物例如布袋蓮、水芙蓉等，其每次清除數量為 30% ~50% ，由於其生長速度不似藻類繁殖異常快速，因此，若過度採收將會影響其質生族群分布，故不適合過度人為干擾影響，且對於子子滋生問題防制，其中一個生物防治方法即為以漂浮性水生植物防制子子產生，所以，若漂浮性水生植物長於人工濕地進流端，應考慮減少其移除數量避免子子滋生。

2. 挺水性耐污性高植物

如香蒲、美人蕉、輪傘莎草等，其採收週期為每個月定期修剪枯枝，而大量採收時為以季為單位進行採收。人工濕地於春夏兩季會進行大量採收挺水性植物的作業；冬季採收週期由於植物生長速度較緩，因此以一至二個月修剪整理一次即可。

挺水性耐污性高植物其每次清除數量為 40% ~60% ，挺水性植物根系較為茂密，為最適合當作人工地淨化之水生植物，其清除作業以修剪枯枝為主，避免落葉枯枝地入水體對水質造成二次污染，而季節性採收選於春夏交替兩季之間，其主要原因為修剪過後植物長出新枝葉，將可更有效吸收水中污染物質，提升淨化速率。

挺水性植物大量採收方法建議分區域採收，例如污水進流端濃度過高生長不易，可以考慮採收量減少，此外，不應進行全面式採收，以香蒲為例，採收方式應以跳行採收而不是全面採收，全面採收將影響植物生長復原速度。

3. 耐污性低水生植物

耐污性低水生植物如生態水池常見植物其生長速度普通，因此植物採收情形並不常見，以半年為一單位進行採收即可，例如大安水蓼衣、澤瀉等。其採收情型式植物生長狀況而定，由於水質污染濃度不同，植物生長的體態形狀數量也會有所差異，故採收數量應以維護管理人員判斷為主。

圖 4-10 漂浮性水生植物採收前



圖 4-11 漂浮性水生植物採收



圖 4-12 人工濕地水生植物採收前



圖 4-13 水生植栽採收情形



第三節 具威脅性生物種類移除計畫

人工濕地系統當興建完工，予以施放的食蚊魚類及部分水生植栽培育外，經過一段時間濕地生態系統淨化功能可以正常運轉，另外也會陸續吸引其他生物棲息進入，可促進生物多樣化環境發展。但是，所吸引來的生物或隨著水生植物栽種時夾帶進來的生物中，也有數種生物（極具威脅性生物）會造成其他族群大量銳減，導致濕地生態系統不平衡。

本研究所指具威脅性外來種生物，是指非人工濕地系統計畫引進及當地原有生物種類的生物，有別於一般所稱台灣原生種及外來種。被規類為具威脅性外來種生物，是維護管理人員進行生態調查記錄時，發現其會對人工濕地生態系統造成影響，必須移除避免生態不平衡。

1. 烏龜

烏龜為雜食性動物，嗜吃小型水生動物；對水生植物會咬食根莖葉，食量龐大對水中生物造成影響。推估可能來源為人為放養，若周圍環境有水域空間，例如校園內的湖泊、公園池塘等，烏龜亦會有遷徙的情形產生。

圖 4-14 人工濕地捕獲烏龜



圖 4-15 遭烏龜咬食小荖菜



2. 吳郭魚

吳郭魚會捕食比其體積小的水生動物，過多將破壞整個人工濕地系統生態。其來源為假日時來濕地休憩的民眾帶來放養，若發現放養情況因及時勸導制止。

3. 牛蛙

牛蛙是體型最大的蛙類，除了雜食性外，也是所有蛙類的天敵，通常

有牛蛙的地方很少會有其他蛙類產生。牛蛙推估來源為人為放養或從養殖場逃脫，應將其移除。

圖 4-16 大型蛙類—牛蛙



4. 福壽螺

福壽螺通常是隨著植物夾帶進來，故在栽植水生植物的同時，必須先檢查再植入水中。而福壽螺產卵於植物的莖上面時，須盡快移除避免繁殖。氣候回溫亦增加福壽螺繁殖，應儘速移除。

圖 4-17 福壽螺卵



5. 其他具破壞性魚種

其他具有對生態平衡破壞的魚種（慈鯛科等），需由維護管理人員進行辨認後檢討，若判斷對於人工濕地水中生物會造成破壞影響，因盡快移除。其他具破壞性魚種，主要為人為放養，若發現民眾放養，應進行宣導並排除。

6. 流浪狗

流浪狗對人工濕地而言問題亦不容小覷，在公共衛生問題部分，大部分溫血動物例如貓、狗、鳥類等，都有帶菌的可能性存在，部分人工濕地沙門氏桿菌及志賀氏菌檢驗呈陽性反應，但出現分佈地點及時間並不是持續連貫的，因此推斷為溫血動物進入水中玩耍帶入。沙門氏桿菌廣佈於人類的生活環境中，尤其最容易寄生在動物糞便中；志賀氏菌被認為是桿菌性痢疾的致病原，如不幸感染可能有腸絞痛、水樣腹瀉及血便情形。人工濕地為一般人皆可隨意逗留、休閒遊憩之處，更是不容忽視此問題。

圖 4-17 校園流浪狗逗留人工濕地飲水



第五章 人工濕地公共衛生維護管理

第一節 水媒致病菌及環境衛生害蟲問題

1. 人工濕地公共衛生環境問題

公共衛生環境問題主要有水媒致病菌及衛生害蟲防制兩大部分，由於人工濕地，可能存在有水媒致病菌，如沙門氏菌、志賀氏菌等；而衛生害蟲主要為病媒蚊、蟑螂、蒼蠅等，對於如何抑制生長或由人工濕地自行淨化去除，將為公共衛生維護管理所要探討的。

沙門氏桿菌分佈很廣可在土壤、家畜及野生動物體內發現，其傳染途徑可經由食用未熟食物，及接觸到被帶原者的排泄物污染的水或食物而感染。若食入十萬隻以上的沙門氏菌，可能出現腹痛、腹瀉、發燒等症狀；而繁殖的細菌也會隨患者的排泄物排出，有機會再使他人受感染。

志賀氏桿菌是一種格蘭氏陰性菌，其分類可分為 A、B、C、D 四群，目前已開發國家中最常見的桿菌性痢疾主要為 D 群志賀氏桿菌引起，其傳染途徑包括人與人直接接觸病菌由口進入人體，或食入遭污染的食物和水，故要預防傳染病應從養成良好的生活習慣，如廁後和接觸食物前應先洗手，才能有效防止疾病發生。

台灣登革熱的病媒主要為埃及斑蚊及白線斑蚊，埃及斑蚊的密度，在某些地區與降雨量成逆相關，原因是缺水時居民常以各種積水容器貯存水，因而增加埃及斑蚊孳生的環境。相反的，孳生地主要於室外的白線斑蚊，則因雨後積水容器的增加，更有助於白線斑蚊族群增長，故其密度與降雨量有密切的正相關。除外，一般家蚊也可能為病媒蚊，在美國蔓延的西尼羅腦炎病毒即是透過家蚊完成生活史，寄生於家蚊的唾腺藉由叮人傳染給人類，輕者出現發燒、頭痛等類似感冒症狀，嚴重者會導致腦組織發炎。

蒼蠅容易孳生於容易產生臭味之動物排泄物、腐爛的各種植物有機質中，一般被認為能傳播痢疾、傷寒及寄生蟲卵。

蟑螂雖然不是直接將疾病傳給人類，卻因其雜食性而間接將病原體污染到人類食物及餐具。早於 1948 年 Mackerras and Mackerras 1948 的研究便指出，引起食物中毒之沙門氏桿菌會隱匿在蟑螂的分泌物及排泄物中，當蟑螂爬過食物或餐具即會留下病菌。1949 年 Bitter and Williams 針對美洲蟑螂成蟲、幼蟲消化道帶菌情形的研究發現，美洲蟑螂幼蟲常不帶菌，表示蟑螂帶菌並非與生俱來，而是來自於污染的環境。

圖 5-1 蚊子及孑孓



圖 5-2 蟑螂屋捕獲德國蟑螂



2. 病媒蚊防制—以食蚊魚類控制孑孓數量

以人工濕地而言，表面自由水層流動式系統（FWS）有孑孓孳生的問題。蚊子數量的控制是濕地維護管理課題，國外專家建議控制方法為維持 BOD 負荷率在 110kg/ha/d 以下，以避免可能發生厭氧狀態的淤塞區（林正

芳等譯，2000)。因為在自然界中，蜻蜓與水生甲蟲等孑孓的天敵必須在好氧 ($DO > 4$) 的環境下生存。控制蚊子的方法包括：避免水流淤塞（短流）、種植浮萍或浮水性植物遮蔽水面、降低污染濃度負荷、生物防治方法—以生物捕食蚊子及孑孓(USEPA)

人工濕地系統為了降低蚊子在濕地中的數量，在蚊子數量的控制上採用增加浮水性植物覆蓋度及生物防制法以降低孑孓數量。增加浮水性植物覆蓋度主要是種植水芙蓉、青萍等浮水性植物，減少孑孓與水面接觸機會；此外，並以食蚊魚(mosquito fish)、鬥魚等克制孑孓，降低其在水中滋生的機會。

第二節 人工濕地水媒致病菌抑制計畫

1. 大腸菌類

在地面水中，“大腸菌類：大腸菌類噬菌體：腸道病毒”，三者比例一般約在 100,000：100：1，這種比例隨季節等因素可以有一定的變動。從數量看，水中大腸菌類遠較水中腸病毒為多，通過水質處理，如水中的大腸菌類數能減少至符合水質標準，按理水中的病毒也應被除去。因此大腸菌類的檢測被視為重要的水質指標微生物。

人工濕地經由水質檢測可知是否有符合相關法令標準，若不合規定可以藉由延長水力停流時間（HRT）、降低水力負荷或停止進流等，以減少大腸桿菌數量。

2. 沙門氏桿菌

沙門氏桿菌廣佈於人類的生活環境中，尤其最容易寄生在動物糞便中。因此放流水經人工溼地水中植物淨化處理後，該菌種是否依然存在對人體造成威脅，在水質檢測中亦極為重要。人工濕地用於淨化污水效果良好，在沙門氏桿菌部分，在人工濕地各池數量明顯減少，且出現檢測位置皆不同，故研判為數量過少或部分人工濕地池有溫血動物（貓、狗、鳥類等）進入棲息引起。

人工濕地為開放性空間，無法阻止生物進入棲息，而目前沙門氏菌及志賀桿菌並無法切確得知其危險性存在，且其族群數量遠低於大腸菌類（指標微生物），在水媒致病菌抑制部分，若大腸菌類數已符合法令標準，則沙門氏菌及志賀氏桿菌應可減至最低。

3. 志賀氏桿菌

志賀氏菌被認為是桿菌性痢疾的致病原，如不幸感染可能有腸絞痛、水樣腹瀉及血便情形。人工濕地用於淨化污水效果良好，在志賀氏菌部分，在人工濕地各池數量雖檢驗呈陽性反應，但為季節性產生且無法得知其切確數量，推論為數量少或溫血動物（貓、狗、鳥類等）進入棲息引起。

人工濕地為開放性空間，無法阻止生物進入棲息，而目前沙門氏菌及志賀桿菌並無法切確得知其危險性存在，且其族群數量遠低於大腸菌類（指標微生物），在水媒致病菌抑制部分，若大腸菌類數已符合法令標準，則沙門氏菌及志賀氏桿菌應可減至最低。

4. 阿米巴原蟲

阿米巴原蟲的感染又稱為阿米巴病(amebiasis)，其主要感染症狀可能為慢性輕微腹瀉甚至爆發性的痢疾，其常存在於水、土壤和腐殖質中。人工濕地少有其存在較無疑慮。

5. 寄生蟲卵

寄生蟲包括如蛔蟲、蟯蟲、鞭蟲等，常見於糞便中亦喜愛藏身泥濘、陰暗處；由於人工濕地本身水中生物生態系統穩定，因此經由水中生物進行捕食及原水本身數量不多緣故，較無公共衛生致病疑慮。

第三節 人工濕地環境衛生害蟲排除計畫

1. 病媒蚊及孑孓數量控制

病媒蚊及孑孓數量控制方面，人工濕地應定期放養捕食孑孓魚種例如：蓋斑鬥魚、三星鬥魚、大肚魚及孔雀魚等，避免孑孓大量孳生。對於季節性孑孓大量繁殖現象，目前根據案例調查結果，人工濕地表面自由水層流動式系統，冬季孑孓數量有暴增的現象，若維護管理人員發現孑孓數量過多，則應放入食蚊魚以避免過度孳生。

而水生植物根系也是妨礙植物活動空間極大原因，例如空心菜、粉綠狐尾藻等挺水性水生植物，其根系過長將會使水中生物無法在水中正常活動，造成某些地區捕食孑孓魚類無法過去捕食的現象，應清除植物避免此情形發生。

2. 蟑螂及蒼蠅減少滋生

人工濕地環境以進流點處原水臭度最高，所以較易招致蟑螂及蒼蠅，人工濕地主要常見的蟑螂種類有美洲蟑螂及德國蟑螂，兩類蟑螂性喜溫暖、潮濕，於春、夏兩季較為常見；但是秋、冬季由於溫度降低，因此害蟲出現數量也隨之減少，甚至消失不見。蟑螂出現主要原因推估，為民眾遺留食物碎屑及周圍環境若有設置垃圾桶等，將較容易導致蟑螂產生。

人工濕地進流端部分應設置管制設施，避免民眾誤入造成公共安全危害。且於平時宜宣導民眾避免隨意餵食濕地生物、應保持周圍環境清潔，以免濕地環境成為衛生害蟲滋生源。

第六章 維護成本及人力訓練計畫

第一節 人工濕地日常階段維護管理經費

6-1-1 成大人工濕地研究階段維護管理經費

成大人工濕地目前處於研究發展階段，因此水質檢測採樣週期、專業維護管理人事費用及植物採收相關費用明顯較高，於未來推廣使用階段，人工濕地維護管理經費將可大幅降低，目前成大人工濕地維護管理經費如下所示：

1. 基本人力費用

(1) 植物採收人力費用(臨時招募)

根據成大人工濕地（水域約面積 200m² 及人工濕地周圍陸域面積）18 個月維護管理經驗而言，水生植物採收投入人力粗估如下：每個月整理一次為頻率、每次投入人力為 2 人/天，若以專業人員日薪 2,000 元計算，則一個月所需費用為 4,000 元，一年為 48,000 元。

計算式：

$$1 * 2 * 2,000 = 4,000 \text{ (元/每月)}$$

$$4,000 * 12 = 48,000 \text{ (元/每年)}$$

於季節性大量採收請外來人員採收，以天計算一天一人 3,000 元，成大人工濕地需 2 人採收一天可採收整理完。

$$2 * 4 * 3,000 = 24,000 \text{ (一年)}$$

因此每個月 2,000 元

每個月採收人力支出費用為 6,000

(2) 操作維護管理技術士費用(常時編制)

人工濕地視場地規模應設置管理技術士，以確保淨化效能與公共衛生。有常時管理人員，該人員應經受訓合格之技術士。教育訓練課程完成維護管理人員 200 m² 需一人，每月 25,000。

每個月採收人力支出費用為 25,000

(3) 人工濕地基本人事費用

常時配置技術士一人以司管理操作，採收工作則為臨時招募雜工（每個月投入4人/天，以成大而言），則：

成大人工濕地每月支出人事費用： $6,000 + 25,000 = 33,000$

2. 水質檢測費用

水質檢測目的，在於確保人工濕地淨化效能及基本公共衛生安全。檢測位置以進流端及排放端為主，檢測項目以符合現行法令關於環境衛生及水資源再利用。

(1) 物理性檢測實施

檢測項目：有溫度、氫離子濃度（pH）、水中溶氧（DO）、濁度（Tu）及導電度（EC.）等五項。

計費基準：上述五項水質項目之檢測費用，單項金額平均為300元（經行政院環保署認證合格水質檢測公司之收費標準）。

檢測一次費用： $300 * 5 = 1,500$ （元）

(2) 化學性檢測實施

檢測項目：總懸浮固體（TSS）、生化需氧量（BOD₅）、化學需氧量（COD）、總大腸桿菌群（TC）及總氮（TN）

行政院環保署認證合格水質檢測公司，水質檢測費用單項金額為1,000元
檢測一次費用： $1,000 * 5 = 5,000$ （元）

每月檢測費用概估

$(1,500 * 4 + 5,000) * 2 = 22,000$ （元）

3. 水電費用

以成大人工濕地使用7HP泵浦（一具2HP污水集水泵浦、一具2HP污水進流泵浦及一具3HP中水澆灌泵浦）為例概估，每日操作進流污水3CMD，平均每月用電量為5度。

$5 * 30$ （日） $* 3$ （元） $= 450$ （元）

4. 成大人工濕地每月投入維護管理經費

$$33,000 + 22,000 + 450 = 55,450 \text{ (元)}$$

(基本人力費用) (水質檢測費用) (水電費用)

6-1-2 人工濕地推廣階段維護管理經費估算

當人工濕地設置條件及各項淨化性能以達原規劃設計之功能時，系統已達穩定狀態，則可以降低日常維護管理作業成本，其敘述如下：

1. 基本人力費用

(1) 植物採收人力 (臨時招募制)

人工濕地植物採收人力費用為臨時進行招募，主要為濕地水生植栽及周圍環境植物大量繁殖，於固定的週期時間發包委外進行採收作業。人力經費估算部分，以人員 (具有採收經驗者) 進行一般平時植物採收費用為一日 2,000 元；但若於季節性大量採收時，應請外來專業人員採收，以天計算一天一人 3,000 元。

以人工濕地水域面積為 100m²~400m² 及周圍陸域面積，水生植物採收投入人力粗估如下：每個月整理一次為頻率、每次投入人力為 1 人/天；而每三個月應進行季節性採收一次於季節性大量採收請外來人員採收，以天計算一天一人 3,000 元，需 2 人採收一天可整理完。

故每月投入植物採收人力費用為 3,000 元。

(2) 操作維護管理技術士

人工濕地應設置操作維護管理技術士或採委由聯合管理技術公司進行維護管理，教育訓練課程完成維護管理人員 400 m² 需設置一人，而若為委託管理公司進行看管則為採用責任制，一個月 10,000 元進行監控人工濕地作業。

2. 水質檢測費用

水質檢測目的，在於確保人工濕地淨化效能及基本公共衛生安全，檢測位置以進流端及排放端 (共二處) 為主。而採樣週期部分，當人工濕地淨化性能已達到原設計功能且系統穩定，則水質檢測週期可以檢為六個月委外進行一次 (一次檢測費用為 13,000 元)。每月檢測費用約為 2,150 元。

每次檢測費用

$$(1,500 + 5,000) * 2 = 13,000 \text{ (元)}$$

3. 水電費用

人工濕地水電費用以進流水抽水泵浦進水為主，不需使用大量電力，因此水電費用較為節省，每月估算為 500 元（以人工濕地面積為 400m² 為例）。

4. 推廣階段人工濕地每個月維護管理費用

$$13,000 + 2,150 + 500 = 15,650 \text{ (元)}$$

（基本人力費用） （水質檢測費用） （水電費用）

第二節 人工濕地與傳統污水處理成本比較

6-2-1 傳統污水處理廠所需編列費用

1. 人事費

一般污水處理廠委託代操作維護人事費之估算，原則上是以人力數量與薪資為主要依據，而薪資分級可分為廠長及副廠長、組長、領班(管理員)及技術員(含操作、維護、分析及行政人員)、技工(工友)等5個薪資等級。

2. 行政事務成本之分析

由於污水處理廠執行過程除現場操作維護工作執行外，尚需相當人力管理與執行各項報表、管理、報告撰寫等工作，此部份費用如事務機械費用、郵電費、報告裝訂印刷費用、教育訓練費、辦公文具消耗品費、辦公室維護費及車輛費用等。惟其費用高低應視污水處理廠規模大小及要求報表整理提報頻率，評鑑制度等要求，編列相對之費用。另於維護費用中需考量各別污水處理廠之設備及規模考量其具備之相關設施如模型、監視設備、視聽系統及冷氣空調維護等。

3. 操作電費

基本電費依供電方式之不同可分為特高壓、高壓及低壓綜合用電三種計價方式，且與供電之契約容量大小有關。大部分污水處理廠之規模具有高壓及低壓設施，有特高壓設施者(八里污水處理廠)較少。

4. 自來水費

操作用自來水主要用於工作人員生活用水、實驗室、設施系統用水等不宜使用回收水的場所。

5. 維護費

於國內實務上，本項費用在初期委託代操作工作之費用編列上，將其

歸屬於各廠站之設備於平常的維護保養時，除了潤滑油外，零件更換、設備可自行修護時之材料等費用，即代操作只負責例行維護保養工作，當設備故障需專業維修廠商處理且非屬操作維護不當之責任時，故障設備由政府機關循發包途徑處理，但此方式之缺點為認定上有所爭議，且政府機關為能符合採購法之相關規定，執行上需花費較多時間，當遇到緊急設備故障且無備用設施，有時會造成處理過慢影響全廠操作之虞。

6. 污水處理廠所需之藥品費

傳統污水處理廠所需之藥品費用項目如下：

- (1) 除臭藥品費
- (2) 污水處理廠運轉加藥費
- (3) 回收水藥品費(此處以混凝系統為例)
- (4) 排放水消毒次氯酸鈉液加藥費

7. 實驗室檢驗分析藥品費

視各廠特性要求訂定採樣點與採樣項目與頻率，另考量因應水質變化或有發生特殊情況時增加採樣次數，於各檢驗項目分析次數增加約 5%估計。

重金屬之檢驗內容包括砷、鎘、總鉻、銅、鉛、總汞、鋅、鎳，需考慮該污水處理廠是否有分析設備，若以委託檢測公司化驗，由於其費用極高，可將檢測頻率降低，另對於老舊需更新之實驗設備，可採用與維護費相同模式，於合約中編列採實作數量計價更新。

另由於實驗室屬精密儀器，其維修與保養非代操作承商能執行，皆須委託儀器廠商處理，故於該費用編列尚需考量儀器定期校正、定期備耗品更換、設備維修費用等編列。

8. 法定檢驗費

- (1) 消防安檢費
- (2) 電氣檢驗費
- (3) 危險機械設備檢驗費

- (4) 作業環境測定費
- (5) 排放水質及污泥餅溶出檢驗費

9. 環境管理

一般中小型污水處理廠此部份費用很少獨立編列，人力部分一般會以編列工友或雜工，清潔用品費用部分大多將其含於行政事務費用中。但於大型污水處理廠，其環境管理工作屬於相當龐大之工作系統，需獨立編列此費用，其費用包括大樓清潔人員、定期消毒、除草，全廠區植栽澆灌、施肥、除蟲、修剪、扶正固定等工作，可視污水處理廠面積及植栽數量編列之。

10. 保險

保險費用視各廠需要編列如雇主責任險、第三人意外責任險、員工意外險、火險、水險等。

11. 保全費用

應考量污水處理廠之區域及廠區出入口管制需求，配合地理環境及設施特性，決定設置保全人員之出入哨口數量及位置等，一般將其人力配置於代操作維護合約中，若廠區大且出入口多處亦有委託專門保全人員執行巡檢工作。

12. 沈砂、污泥及篩渣清運處理費

國內污水處理廠沈砂、污泥及篩渣清運處理方式，大多以掩埋方式處理，近年來推動將污泥餅堆肥處理、或製磚處理，皆期望能朝資源化再利用方式，降低對掩埋廠之需求與對環境之衝擊。

13. 其他費用

- (1) 緊急發電機柴油費
- (2) 環境品質監測費
- (3) 協助參觀及解說補助費
- (4) 因廠區需求配置之其他重要設備

- (5) 緊急應變準備金
- (6) 折舊費及機關派駐人力等費用

6-2-2 人工溼地所需偏列費用

1. 人事費用(含日常操作管理費用)

人事費用部分主要為植物採收人力費用及人工濕地維護管理技術士兩項：人工濕地植物採收人力費用為臨時進行招募，主要為濕地水生植栽及周圍環境植物大量繁殖，於固定的週期時間發包委外進行採收作業；設置操作維護管理技術士為常時編制，該人員應為經受訓合格之技術士，人工濕地視場地規模大小應設置管理人員，以確保淨化效能與公共衛生。

2. 水電費用

人工濕地水電費用以進流水時污水抽水泵浦進水為主，也會加設迴流水循環裝置，由於不需要大量電力使用，因此水電費用較為節省。

3. 人工溼地內機具、管線維修管理費用

人工濕地主要機具為泵浦數各提供濕地進流水抽水使用及一般迴流循環用水使用，因此管線維修以檢視泵浦是否有因雜物堵塞毀損為主，當發現設備管線有問題而維護管理人員無法進行解決，可委託承包施工單位或水電技師進行修復。

4. 水質檢驗費用(委外經行政院環保署認證合格水質檢測公司檢驗)

(1) 物理性檢測實施

檢測項目：有溫度、氫離子濃度 (pH)、水中溶氧 (DO)、濁度 (Tu) 及導電度 (EC.) 等五項。

計費基準：上述五項水質項目之檢測費用，單項金額平均為 300 元 (經行政院環保署認證合格水質檢測公司之收費標準)。

(2) 化學性檢測實施

檢測項目：總懸浮固體 (TSS)、生化需氧量 (BOD₅)、化學需氧量 (COD)、總大腸桿菌群 (TC) 及總氮 (TN)

行政院環保署認證合格水質檢測公司，水質檢測費用單項金額為 1,000 元

6-2-3 淨化污水處理費用成本比較

1. 污水處理廠處理污水成本

污水處理廠能夠在短時間消除大量污染物的主要原因，是人為提供大量的能源（主要用於曝氣）與添加化學藥品。這個機制需要很高的電費及藥品費用，加上機械設備的維修保養工作，對於各級單位都是一個相當大的財務負擔。根據目前較穩定正常操作的污水廠所得到實際的數字，大型污水廠每天每立方公尺處理污水成本約為 3 元，如台南市安平污水廠每天設計處理量為 135,000 噸污水，每年約需 $135,000 \times 3 \text{ 元} \times 365 \text{ 天} =$ 一億五千萬元（目前操作約 100,000 立方公尺，每年約需一億元）。小型污水廠（每天數萬立方公尺）每天每立方公尺處理污水成本則為 6 元。

2. 人工濕地自然系統處理污水成本

（1）成大人工濕地處理成本

由上述（6-1-2）可得知成大人工濕地每個月處理成本為 55,450 元，若以每個月最高處理量為 20 噸（生活污水）計算，則每一噸處理費用為 92.5 元。以一般人工濕地處理費用而言超出甚多，成大人工濕地主要為了收集人工濕地水質淨化效益及進行相關實驗，因此水質檢測以每週進行採水樣一次，因此水質檢測費用若依據一般人工濕地每季或每半年對人工濕地進行水質檢測其費用將可大幅降低 61.5 元。

（2）二行社區人工濕地處理成本

目前二行社區人工濕地主要為，以一年三十萬委託嘉南藥理科技大學進行水質檢測（每各月進行水質檢測一次，並一年兩次送交水質檢測公司進行水質檢測）及維護管理相關作業，另外，並與行政院『擴大公共就業方案』進行配合，公共就業方案提供每個月三人一人一萬五千元進行人工濕地及周圍環境維護。二行社區人工濕地 80CMD，經過換算每一噸污水處理費用為每個月最高污水處理量為 16 元。

3. 人工濕地及污水處理設施處理費用成本比較

經由上述調查可得知大型污水處理設施處理一噸污水成本為 3 元，小型污水處理設施處理一噸污水成本為 6 元；而人工濕地處理成本由數十元到十幾元不等。其原因為目前可得主要為密集型人工濕地數據（處理濕地

水域面積小於 1,000 平方公尺)，因此，其處理水量較小，導致處理污水成本過高；此外，在污水淨化效益部分，經由人工濕地淨化完之污水可以符合土壤處理標準(93 年)，但一般傳統污水處理設施並無法達到此標準。當濕地系統照標準確立以後，水質檢測次數、項目或頻率可大幅縮減，另外人力費用也可利用志工來降低成本，人工濕地設置於戶外空曠地區、處理水量大，則污水處理成本也會隨之降低。

目前可得知人工濕地污水處理成本仍略高於污水處理設施，但是，人工濕地所能夠賦予的附加價值遠高於污水處理設施。如下表所示：

表 6-1 人工濕地系統及污水處理設施比較

項目	人工濕地系統	污水處理設施
施工方法	自然地形開挖 簡易防水施工方法	鋼筋混凝土 機房設施
能源需求	進流水泵浦 迴流循環水馬達	大量電力提供曝氣
附加價值	野生動物棲息 景觀美學 生態價值	可提供參觀及教學

人工濕地系統相較於傳統污水處理設施，顯現其具有省能源、省資源、低成本、無二次污染、操作維護簡便等優點，本身又能提供生態棲息空間、生態復育、增添自然景觀、凝聚居民意識等附加價值，人工濕地的所擁有的效益更加廣泛。

第三節 人工濕地維護管理人員訓練課程

人工濕地訓練課程可將其分為一般民眾解說導覽及訓練操作維護管理技術士兩種，一般民眾人工濕地訓練課程以宣導及增加對濕地認知為主；此外，維護管理技術士為訓練人工濕地管理人員，所要求人員為具有相關領域背景，並對人工濕地維護管理有興趣者進行教育，於會後進行認證工作。

1. 一般民眾人工濕地訓練課程安排

訓練時間：1 天

訓練課程安排：

表 6-2 人工濕地一般民眾訓練課程

人工濕地一般民眾訓練課程				
時間		主題	主講人	附註
上午	9:00~10:30	人工濕地概論 (I)	--	--
	10:30~11:00	休息	--	--
	11:00~12:30	人工濕地概論 (II)	--	--
12:00~13:00		中午休息時間		
下午	13:00~17:00	人工濕地現況導覽	--	--

(1) 人工濕地概論 (3 小時)

人工濕地概論主要目的為將不瞭解人工濕地的一般民眾，使他們可以更進一步瞭解人工濕地的由來及其運作方式，此外對於濕地型式及日常階段所會面臨的問題提供相關知識，當未來於鄰里社區設置人工濕地時，亦可增加居民及民眾對濕地的認知，增進接觸意願。

(2) 人工濕地現況導覽 (4 小時)

串連現有台灣數個人工濕地，進行實際現況參訪觀察，使一般民眾可以更加親近人工濕地，並瞭解運作方式及附加價值。

2. 人工濕地技術士訓練課程安排

訓練時間：2 天

訓練課程安排：

表 6-3 人工濕地技術士訓練課程 第一天

人工濕地維護管理技術士訓練課程 第一天				
時間		主題	主講人	附註
上午	9:00~11:00	人工濕地概論	--	--
	11:00~11:30	休息	--	--
	11:30~12:30	人工濕地淨化機制	--	--
12:00~13:00		中午休息時間		
下午	13:00~14:00	人工濕地生態系統介紹	--	--
	13:00~17:00	人工濕地規劃設計流程及方法	--	--
	13:00~17:00	人工濕地施工流程及方法	--	--

表 6-4 人工濕地技術士訓練課程 第二天

人工濕地維護管理技術士訓練課程 第二天				
時間		主題	主講人	附註
上午	9:30~10:30	人工濕地淨化效能維護管理計畫	--	--
	10:30~11:00	休息	--	--
	11:00~12:00	人工濕地概論生態環境維護管理計畫	--	--
12:00~13:00		中午休息時間		
下午	13:00~14:30	人工濕地公共衛生維護管理計畫	--	--
	14:00~18:30	人工濕地現況導覽	--	--

(1) 人工濕地概論 (2 小時)

人工濕地概論主要為一個通識教育訓練，人工濕地操作維護管理技術士，可藉由概論先行瞭解人工濕地的由來及其運作方式，此外對於濕地型式及日常階段所會面臨的問題提供相關知識，為奠定後續課程基礎。

(2) 人工濕地淨化機制 (1 小時)

瞭解人工濕地類型及定義，並針對不同濕地構造系統的淨化效果及機制進行教學，使維護管理技術士可以瞭解人工濕地如何運用自然生態系統進行淨化去污。本課程也對人工濕地的應用介紹，例如：可處理農業、漁牧業、工業及一般社區等廢污水。

(3) 人工濕地生態系統介紹 (1 小時)

教導技術士認識人工濕地常見的生物，瞭解濕地生態系統。由於人工濕地牽涉到淨化效益問題，不同於一般濕地傾向以自然生態系統為主，人工濕地生態系統會面臨部分人為進行干預，因此技術士必須對於生態系統如何較為穩定有一定認識。

(4) 人工濕地規劃設計流程及方法 (1.5 小時)

人工濕地設置是有計畫性的，並非漫無目的一味的建設。從基地選址、水力估算、濕地系統構造型式設計及後續操作維護管理計畫，都有其規劃設計方法及流程，人工濕地從規劃最初面臨的問題、規劃方法甚至遭遇到法令問題應教導技術士瞭解。

(5) 人工濕地施工流程及方法 (1.5 小時)

雖然人工濕地技術士不一定會參與到人工濕地的施工建設，但是對於系統構造及施工方式應有詳細的瞭解，當系統發生問題，才有能力進行解決。

圖 6-1 人工濕地施工流程及方法



(6) 人工濕地淨化效能維護管理計畫 (1.5 小時)

淨化效能主要談論人工濕地啟動期與穩定期維護管理、定期進行水質檢測及如何正確操作系統三部分。

啟動期與穩定期維護管理為系統建造完成使用階段必經狀態，如何在啟動期時減低水中動物植物死亡及復育生物，在穩定期間應如何控制水源穩定進流為本課程探討內容。

定期水質檢測為確保人工濕地是否有符合當初設計之淨化效能，並對之後人工濕地操作淨化污水品質建立嚴格把關制度以確保公共衛生安全無虞。

正確操作系統為人工濕地成功與否重要因素之一，除了定期進行水質檢測，如何控制人工濕地進、出流排放裝置；如何進行基本設備管線維護管理；當遇到突發狀況時，人工濕地應如何進行緊急停止進流步驟，應讓技術士瞭解。

(7) 人工濕地生態環境維護管理計畫 (1.5 小時)

生態環境維護管理主要為初期生物引進計畫、植物生態環境維護管理及具威脅性生物移除計畫。

初期生物引進計畫為人工濕地建立最初所引進的動物、植物介紹，並對於後來陸續吸引進入濕地生態系統中的生物進行講解。並教導如何辨識生物，訓練技術士可以進行生物調查方法。

植物維護管理為人工濕地極為重要的一個環節，追求高效率淨化效果、景觀美化且營造更佳的小生物棲地環境，都需依賴植物採收管理，於採收同時如何著裝確保採收人員安全為其重點。

具威脅性生物移除有助於人工濕地生態系統的穩定，具威脅性生物如福壽螺、牛蛙等較容易干涉其他生物棲息，應有效防治及移除。

(8) 人工濕地公共衛生維護管理計畫 (1.5 小時)

公共衛生維護管理計畫主要含括水媒致病菌抑制計畫及環境衛生害排除計畫。人工濕地公共衛生安全為濕地規劃者最應該注意的部分，對於水媒病菌產生及環境衛生害蟲出現，應如何避免為本課程所探討議題。

(9) 人工濕地現況導覽 (2.5 小時)

串連現有台灣數個人工濕地，進行實際現況參訪觀察瞭解運作方式，並可以實際操作人工濕地，增加技術士實作經驗。

第七章 結論與建議

第一節 結論

1. 人工濕地維護管理經費估算

人工濕地主要經營管理費用為基本人力支出費用、水質檢測費用及水電費用等。因此，本研究在日常階段維護管理費用部分針對此三項進行經費估算，以瞭解未來設置人工濕地後維護管理經費。

以成大人工濕地而言，基本人力支出費用（包含維護管理技術士一名及植物採收人員兩名）為每月 33,000 元；定期水質檢測費用（包含進流水源及排放水源，並委外認證合格檢測公司檢測）每月檢測費用為 22,000 元；水電費用（進流水泵浦）每月費用概估為 450 元，因此成大人工濕地每月維護管理費用為 55,450 元。

本研究維護管理經費估算略高，因為成大人工濕地為實驗型，水質檢測週期較為密集，且維護管理週期較短，而濕地面積及處理污水量小的緣故。而推廣階段人工濕地淨化處理污水量大、面積雖廣大，但是相對水質檢測費用（當性能已達到原設計功能且系統穩定）及維護管理成本將大幅降低，每月維護管理費用降至 15,650 元。

2. 擬定人工濕地維護管理技術士訓練課程

人工濕地應設置操作維護管理技術士以對該濕地提供保障，由於技術士需要較專業的人才，應具備人工濕地維護管理多方面的知識，當濕地發生問題得以即時解決。本研究擬定人工濕地維護管理人員訓練課程，提供後續人工濕地技術訓練使用。

目前訓練課程分為一般民眾解說導覽（一天）及訓練操作維護管理技術士（兩天）兩種，一般民眾人工濕地訓練課程以宣導及增加對濕地認知為主；維護管理技術士為訓練人工濕地管理人員，所要求人員為具有相關領域背景，並於會後進行認證工作。

3. 傳統污水處理成本與人工濕地污水處理成本比較

在污水淨化效益部分，經由人工濕地淨化完之污水可以符合土壤處理標準（93年），但一般傳統污水處理設施並無法達到此標準。相較污水處理設施，人工濕地具有省能源、省資源、低成本、無二次污染、操作維護簡便等優點，而本身又能提供生態棲息空間、生態復育、增添自然景觀、凝聚居民意識等附加價值。

因此雖然目前污水處理設施成本較人工濕地處理費用低廉，但當人工濕地進入推廣使用階段，皆可大幅降低維護管理經費，且其附加價值更優於傳統污水處理設施，值得未來推廣使用。

4. 人工濕地維護管理步驟流程建立

目前國內人工濕地對於維護管理部分尚無規範，面對日常階段常發生問題，例如：經營管理經費缺乏、管理人員認知傳承有差異及外來生物放養問題等，並無正確方法解決。本研究針對人工濕地操作維護管理方法及步驟，擬定了淨化效能維護管理、生態環境維護管理及公共衛生維護管理三個維護管理計畫，期對未來建造及維護管理提供規範。

第二節 建議

建議一

人工濕地維護管理手冊及管理技術士訓練課程擬定：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部建築研究所

本研究針對人工濕地日常階段維護管理情形調查探討，且針對公共衛生議題病媒蚊控制進行實驗，目前已初步擬定人工濕地維護管理手冊（詳見附錄二），而人工濕地應設置操作維護管理技術士以對該濕地提供保障，由於技術士需要較專業的人才，應具備操作維護管理及相關知識，當濕地發生問題得以即時解決。本研究擬定人工濕地維護管理人員訓練課程，並建立認證制度，提供後續人工濕地技術訓練使用。

建議二

人工濕地法制化之可行性研究：中長期可行建議

主辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部建築研究所

本研究調查探討數個人工濕地案例，顯示出系統設置上仍有許多議題值得探討，如設計構造型式、水力系統估算、施工構法不良及日常經營維護管理，並非極為完美，因此，可於未來進行人工濕地法制化可行性之研究，避免衍生後續環境衛生等議題。

建議三

污水處理設施與人工濕地用於處理社區污水之比較：中長期可行建議

主辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部建築研究所

一般社區、公寓大廈應設置污水處理設施（建築技術規則，公寓大廈管理條例），若將其改為設置人工濕地可增加水資源回收再利用。本研究初步探討已得，目前人工濕地處理污水成本較傳統污水處理設施為高，但在其淨化效果部分（經人工濕地淨化水質可達土壤處理標準，93年）較傳統污水處理廠為優，而濕地附加的價值也遠高於傳統污水處理設施，未來

可加以研究以人工濕地用於處理社區污水之可行性。

建議四

人工濕地公共衛生安全議題深入探討：中長期可行建議

主辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

協辦機關：內政部建築研究所

內政部建築研究所已委託高雄醫學大學公共衛生研究所對成大人工濕地公共衛生環境進行研究，目前可以確定公共衛生安全並無虞慮。但其他人工濕地系統（例如設置基地、處理污水成分不同等）對於環境衛生並無法得知其安全性，未來建議委託研究單位進行其他人工濕地公共衛生議題探討，以進一步確保安全。

附錄 I 會議記錄

「透水鋪面技術規範與法制化之研擬」、「人工濕地公共衛生及維護管理之研究」暨「雨水貯集利用設計技術規範與法制化工作」案期末審查會議會議紀錄

- 一、時間：94年11月16日（星期三）上午9時30分正
- 二、地點：本所會議室（台北市敦化南路二段333號13樓）
- 三、主持人：丁所長育群 **丁育群** 記錄：**徐鹿嘯**
- 四、出席人員：

機關團體：

行政院經濟建設委員會 請 假

行政院公共工程委員會 _____

教育部 請 假

內政部營建署 _____

審查委員：

邱教授垂德 請 假

周教授鼎金 _____

陳副總工程司弘由 NG3出

陳組長仁仲 請 假

張副總經理荻薇 建荻薇

廖副總經理文水 _____

鄭教授光炎 請 假

蕭教授江碧 蕭江碧

計畫主持人：

台灣雨水利用協會

蔡耀隆

廖教授朝軒

廖朝軒

林教授志棟

林志棟

林教授憲德

林憲德

鄭教授政利

鄭政利

本 所：

何副所長明錦

葉主任秘書世文

毛組長華

陳組長建忠

王暉堯

葉組長祥海

陳組長瑞鈴

陳瑞鈴

徐副研究員虎嘯

相關人員

施孟亨 呂文子

陳建達 姚志廷

簡煥崧

王信誠

劉耀斌

五、主席致詞：(略)。

六、承辦單位報告：(略)

七、研究計畫簡報：(略，詳會議資料)

八、出席人員發言要點：

審查委員一

張副總經理蒞薇

- 1 現階段人工濕地在推廣上仍有許多不同的意見及看法，這主要是因為濕地在衛生及管理上仍有許多盲點及疑慮存在，因此本案以許多實際案例進行相關操作，並提供相關操作維護管理手冊，應有助於日後濕地之推廣應用。
- 2 人工濕地所需之管理技術、人力與經費是否足夠，應為濕地成敗的關鍵。因此如何營造成熟的實施條件並獲得各界的共識，應為本案未來研究的重要課題。

陳副總工程師弘由

- 1 本案所建議的技術士認證部分，建議除應評估其可行性外，另外也應將相關的技術人員培訓、證照考核與管理計畫，於計畫中敘明，以供日後委託單位執行之參考。
- 2 有關人工濕地內的生物鏈是如何建構與維持？此外生物對水質淨化的影響為何？請於報告中補充說明。

蕭教授江碧

- 1 人工濕地如能經由良好的管理，除可做為一景觀休憩空間外，同時也提供另一種污水處理的方式，這在基地空間較大的如：學校、機關等應可廣泛推廣，同時對現階段政府為解決日益嚴重的污水問題，也不失為另一項可供選擇的方式。
- 2 除相關的維護管理手冊外，相關管理人員的訓練及認證等工作，應為本案未來推行成功的另一項關鍵，應儘快著手規劃研議。

陳組長仁仲（書面意見）

- 1 人工濕地處理效能因會影響生活品質，且一般基於衛生考量多設於距居住環境較遠處，因此若要擴大實施範圍，未來相關操作管理將更顯重要，此外在管理維護人員之資格部分，建議應提高層級，且相關培訓課程及認證制度，或可配合現行環保署已實施的廢污水操作人員培訓及認證，以確保濕地水質並降低環境操作風險。

本所一

陳組長瑞鈴

- 1 有關濕地的水質部分，本所先前委託高雄醫學大學進行成大各水池之比較檢測，顯示有良好管理機制的濕地，水質較其他水池良好。因此建立管理維護機制，是濕地推廣的重要工作。

九、會議結論：

- 1 由於建築基地保水技術眾多，因此訂定相關保水技術規範確有其必要，除相關工法、資料之收集建立外，鋪設後之維護管理，以及施工方式，將直接影響未來之效益，因此如何有效延長使用壽命，降低維護及建造成本，請研究單位在未來的設計規範及維護管理手冊中訂定，以利未來推廣應用之參考。
- 2 本案法制化方式，除一般通則增修訂相關條文外，其餘細項規定，宜以設計規範呈現，以減少施行上的阻力。
- 3 本案經審查結果原則通過，惟透水鋪面相關維護管理規範，請於成果報告中補齊。與會專家學者及出席代表意見請研究單位參採，於成果報告回應，並如期繳交成果報告及辦理經費核銷。
- 4 本案本年度執行情況良好，依據契約，本所將優先與執行單位辦理明(95)年度之議價，相關程序請依政府採購法及契約書內容辦理。
- 5 另在人工濕地計畫部分，由於研究團隊研究成效卓著，已於本(94)年先行完成原訂明年要製作之操作維護管理手冊，因此本案明(95)年研究計畫可酌予調整，請與本所環境控制組儘速研議後辦理。

十、散會（上午十二時正）

期末審查會議記錄及處理情形：

評審意見	處理情形
<p>張副總經理蒞薇</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 現階段人工濕地在推廣上仍有許多不同的意見及看法，這主要是因為濕地在衛生及管理上仍有許多盲點及疑慮存在，因此本案以許多實際案例進行相關操作，並提供相關操作維護管理手冊，應有助於日後濕地之推廣應用。 2. 人工濕地所需之管理技術、人力與經費是否足夠，應為濕地成敗的關鍵。因此如何營造成熟的實施條件並獲得各界的共識，應為本案未來研究的重要課題。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員指導。 人工濕地公共衛生問題經由本研究定期水質檢測結果顯示安全無虞，而內政部建築研究所亦委託高雄醫學大學測試公共衛生確保人工濕地安全。而維護管部分本研究於今年度將完成維護管理手冊，提供未來使用。 2. 謝謝委員指導，本計畫未來僅遵辦理。
<p>陳副總工程司弘函</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本案所建議的技術士認證部分，建議除應評估其可行性外，另外也應將相關的技術人員培訓、證照考核與管理計畫，於計畫中敘明，以供日後委託單位執行之參考。 2. 有關人工濕地內的生物鏈是如何建構與維持？此外生物對水質淨化的影響為何？請於報告中補充說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員指導，本計畫未來僅遵辦理。 2. 謝謝委員指導。人工濕地生物對水淨化主要為水中微生物進行，而其餘生物對水質淨化並無絕對之影響，已於去年文案中說明。
<p>蕭教授江碧</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 人工濕地如能經由良好的管理，除可做為一景觀休憩空間外，同時也提供另一種污水處理的方式，這在基地空間較大的如：學校、機關等應可廣泛推廣，同時對現階段政府為解決日益嚴重的污水問題，也不失為另一項可供選擇的方式。 2. 有關人工濕地除相關的維護管理 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員指導。

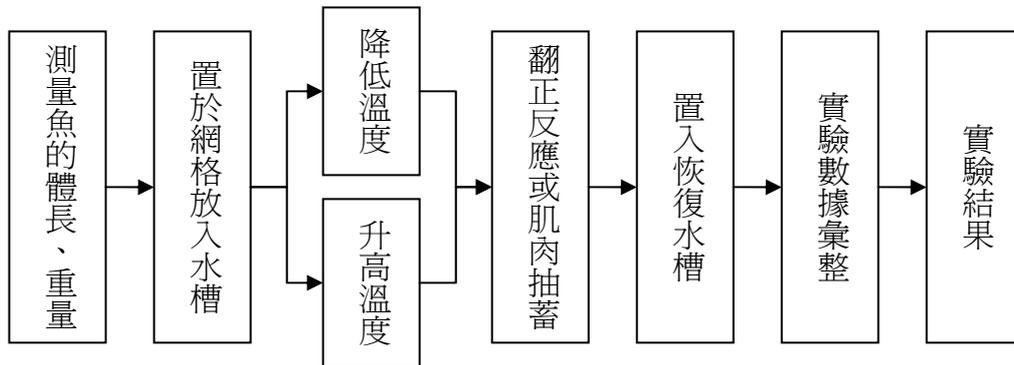
<p>手冊外，相關管理人員的訓練及認證等工作，應為本案未來推行成功的另一項關鍵，應儘快著手規劃研議。</p>	<p>2. 謝謝委員指導，本計畫未來僅遵辦理。</p>
<p>陳組長仁仲（書面意見）</p> <p>1. 人工濕地處理效能因會影響生活品質，且一般基於衛生考量多設於距居住環境較遠處，因此若要擴大實施範圍，未來相關操作管理將更顯重要，此外在管理維護人員之資格部分，建議應提高層級，且相關培訓課程及認證制度，或可配合現行環保署已實施的廢污水操作人員培訓及認證，以確保濕地水質並降低環境操作風險。</p>	<p>1. 謝謝委員指導，本計畫未來僅遵辦理。本研究目前對人工濕地維護管理及公共衛生部分進行調查檢討，未來在人工濕地維護管理技術士及訓練人院課程擬定部分，將再進行討論研擬。</p>
<p>陳組長瑞鈴</p> <p>1. 有關濕地的水質部分，本所先前委託高雄醫學大學進行成大各水池之比較檢測，顯示有良好管理機制的濕地，水質較其他水池良好。因此建立管理維護機制，是濕地推廣的重要工作。</p>	<p>1. 謝謝委員指導。</p>

附錄 II 食蚊魚及鬥魚環境耐受性實驗

一、食蚊魚耐受性實驗

人工濕地運轉機過一段時間，魚種族群分佈及數量部分有出現減少的現象，雖然引進初期人工濕地選擇魚種以耐污性高、存活繁殖且為台灣田野溝渠常見快為選擇重點，但仍然有魚種因為濕地中水質因素，而導致魚群集體死亡，因此本研究將針對魚類死亡及水質淨化中選取相關因子進行實驗。

1-1 臨界溫度耐受性實驗



1. 動物採集與飼養

耐受性實驗測試三種魚類，分別是蓋斑鬥魚、三星鬥魚及大肚魚，2004年7月於成大人工濕地實驗場址採集，實驗前馴養於室溫（日、夜均溫皆為28°C）無直射陽光環境下7天，每日10時與18時各餵食一次。水溫實驗前24小時不餵食，以確保測試時個體為空腹狀態。

2. 臨界溫度耐受性測試

蓋斑、三星及大肚魚溫度耐受測試包含臨界低溫(critical thermal minimum, CTmin)與臨界高溫(CTmax)之測試，實驗皆先測試臨界低溫，一天（24小時）休息後再進行臨界高溫之測試。

進行溫度耐受實驗前，都先測量每隻魚的體長及體重。三種魚的絕對溫度耐受測試各有 12 隻個體，三星鬥魚與蓋斑鬥魚每次以 6 隻個體進行測試，每隻個體置於 10*10*11 cm 的網格中；大肚魚每次以 12 隻個體進行測試，每隻個體置於 5*5*8.5 cm 的網格中。網格放置於裝有已曝氣 24 小時的水之恆溫水槽中，並以幫浦充分打氣。

臨界低溫耐受測試時低溫水槽起始溫度設定於 28 °C，前 40 分鐘先讓魚在起始溫度下適應，之後以每分鐘 0.5 °C 升溫；當魚失去翻正反應（將腹面轉朝下方）或出現肌肉抽蓄時，以溫度計紀錄該網格的水溫，此溫度即為該個體之臨界低溫。

CTMin 起始溫度設定：28 °C

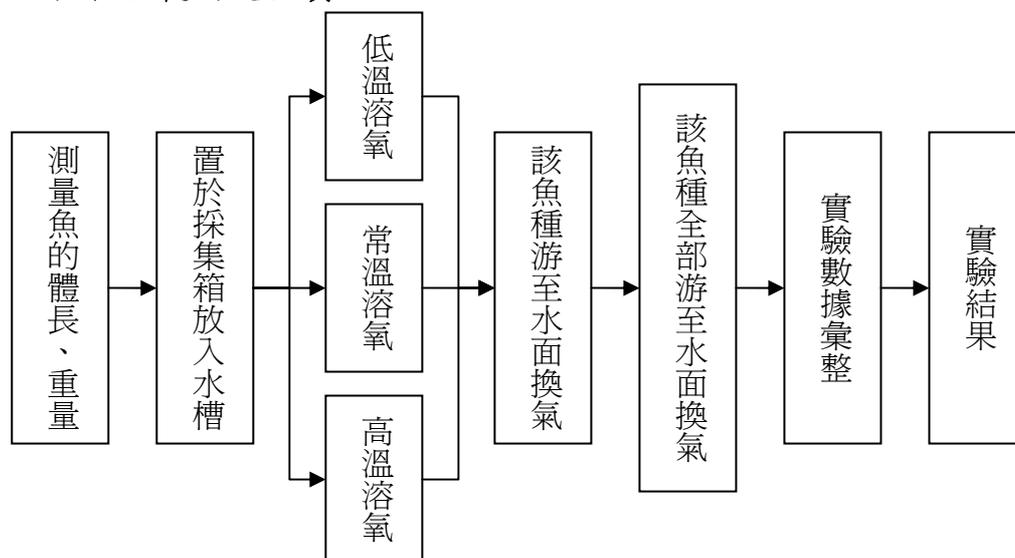
CTMin 最終溫度設定：5 °C

臨界高溫耐受實驗則將升溫水槽的起始溫度設定於 27°C，前 40 分鐘先讓魚在起始溫度下適應，之後以每分鐘 0.5 °C 降溫；當魚失去翻正反應或出現肌肉抽蓄時，以溫度計紀錄該網格的水溫，此溫度即為該個體之臨界高溫。

CTMax 起始溫度設定：27 °C

CTMax 最終溫度設定：45 °C

1-2 水中溶氧耐受性實驗



1. 動物採集與飼養

與臨界溫度馴養方式、魚種相同。

2. 水中溶氧耐受性測試

溶氧耐受性共分為三組水溫測試，三組水溫訂定依據臨界溫度實驗三種魚類開始產生不安感（急躁、不停游動等）時之溫度，為其低溫組與高溫組溫度設定，分別為室溫組（28°C）、低溫組（17°C）與高溫組（35.5°C）。溶氧耐受性實驗順序為室溫組（28°C），隔日（24 小時後）進行低溫組（17°C）測試，再隔 24 小時進行高溫組（35.5°C）實驗。

每種魚測試時皆採用 15 隻個體，每次將單一物種的所有個體一同置入 16*26*17 cm 的塑膠採集箱中並至於恆溫水槽中，採集箱中裝有已曝氣 24 小時的水，開始前先以幫浦充分打氣使水中溶氧在該測試水溫達飽和。

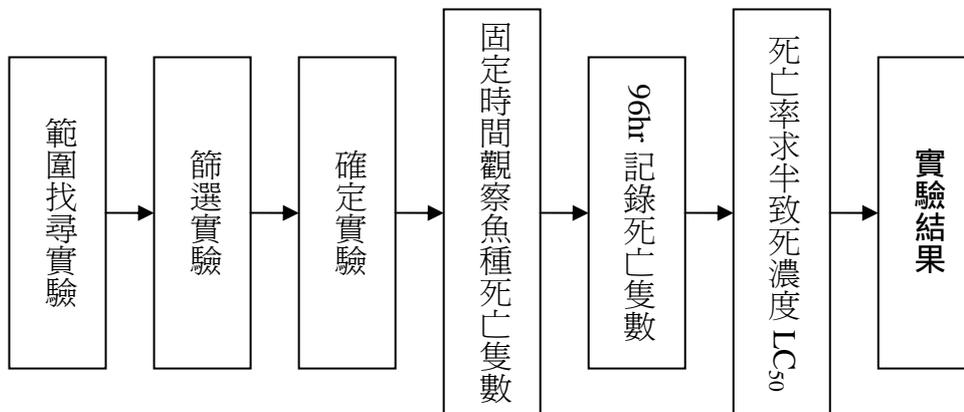
實驗前先讓魚在該溫度下適應 40 分鐘，之後魚水中打入氮氣，並以溶氧測定器（Aqualytic SensoDirect 24）即時記錄水中溶氧。當魚游至水面換氣並停留時，記錄停留水面的隻數及水中的溶氧，直至全部個體浮至水面，記錄當時水中溶氧為該魚種在該水溫度下之溶氧耐受。

高溫溶氧實驗溫度設定：35.5 °C

常溫溶氧實驗溫度設定：28 °C

低溫溶氧實驗溫度設定：17 °C

1-3 氮氣急毒性耐受性實驗



1. 動物採集與飼養

2004 年 10 月於成大人工濕地採集大肚魚 100 隻；2004 年 11 月於水族店購得蓋斑鬥魚 100 隻；2004 年 10 月於葫蘆埤採集三星鬥魚 60 隻。馴養於室溫（日、夜均溫皆為 28°C）無直射陽光環境下 7 天，每日 10 時與 18 時各餵食一次。實驗前三天不餵食，以確保測試時個體為空腹狀態，並且能降低魚在實驗期間的氨氮排放。

2. 氨氮急毒性耐受性測試

(1) 大肚魚氨氮急毒性耐受實驗

2004 年 10 月將每 10 隻大肚魚分置於一個 25cm*12cm*17cm 的採集箱中，內裝有 2.5 公升之氨氮溶液。氨氮溶液的配製以 3.82 毫克的氯化銨（NH₄Cl，GR 級試藥，YAKURI 公司出品）溶於 1 公升已曝氣之淡水中，在 25°C 下此濃度為 1ppm 氨氮（NH₄⁺-N + NH₃-N）溶液。

依據成功大學建築系人工濕地生態池的氨氮濃度，將實驗濃度設為 0、5、10、15、20、30、50、70、90ppm 十組，每測試濃度有兩重複共 20 隻個體。所有採集箱放置於 25°C 的大型恆溫箱中以控制水溫為 25°C，光、暗週期為 12:12hr。為避免體型可能造成的差異，將不同體型大小先區分為三個等級，再將各等級平均分配至各氨氮濃度溶液中，使各測試濃度下的體型大小分佈類似。

實驗期間不打氣、不餵食，每 24 小時更換一次相同濃度的氨氮溶液。實驗開始後，第 0、2、4、8、12、24、48、72、96 小時分別記錄魚的死亡隻數、pH 及水中溶氧。死亡的個體及時以夾子取出避免污染水質，此外控制組（0ppm）的死亡率若超過 10%，則重新進行實驗。

(2) 三星鬥魚氨氮急毒性耐受實驗

三星鬥魚的氨氮耐受分別於 2004 年 10 月及 11 月進行，由於樣本數不足，因此若於實驗的濃度內未達到半致死濃度，則將此次實驗的魚重新放回正常水質的魚缸飼養一星期，每次將每 5 隻三星鬥魚分置於一個 25cm*12cm*17cm 的採集箱中，內裝有 2.5 公升之氨氮溶液。實驗期間總共

配置 30、50、70、90、130、150、170、190、210、240、270、300、330、360、390、420、450、500、550、600ppm 共 20 組，每測試濃度有 10 隻個體，每次實驗時另設一組氨氮濃度為零的控制組。所有採集箱放置於 25℃ 的大型恆溫箱中以控制水溫為 25℃，光、暗週期為 12:12hr。為避免體型可能造成的差異，將不同體型大小先區分為三個等級，再將各等級平均分配至各氨氮濃度溶液中，使各測試濃度下的體型大小分佈類似。

實驗期間不打氣、不餵食，每 24 小時更換一次相同濃度的氨氮溶液。實驗開始後，第 0、2、4、8、12、24、48、72、96 小時分別記錄魚的死亡隻數、pH 及水中溶氧。死亡的個體及時以夾子取出避免污染水質，此外控制組（0ppm）的死亡率若超過 10%，則重新進行實驗。

（3）蓋斑鬥魚氨氮急毒性耐受實驗

蓋斑鬥魚的氨氮耐受分別於 2004 年 10 月及 11 月進行，由於樣本數不足，因此若於實驗的濃度內未達到半致死濃度，則將此次實驗的魚重新放回正常水質的魚缸飼養一星期，每次將每 10 隻蓋斑鬥魚分置於一個 25cm*12cm*17cm 的採集箱中，內裝有 2.5 公升之氨氮溶液。實驗期間總共配置 30、60、90、120、150、180、210、240、270、300、330、360、390、420、450、480、510、560、610、660ppm 共 20 組，每測試濃度有 10 隻個體，每次實驗時另設一組氨氮濃度為零的控制組。所有採集箱放置於 25℃ 的大型恆溫箱中以控制水溫為 25℃，光、暗週期為 12:12hr。為避免體型可能造成的差異，將不同體型大小先區分為三個等級，再將各等級平均分配至各氨氮濃度溶液中，使各測試濃度下的體型大小分佈類似。

實驗期間不打氣、不餵食，每 24 小時更換一次相同濃度的氨氮溶液。實驗開始後，第 0、2、4、8、12、24、48、72、96 小時分別記錄魚的死亡隻數、pH 及水中溶氧。死亡的個體及時以夾子取出避免污染水質，此外控制組（0ppm）的死亡率若超過 10%，則重新進行實驗。



圖 1 臨界溫度耐受實驗測試



圖 2 水中溶氧耐受實驗測試



圖 3 氨氮急性毒性耐受實驗測試

二、食蚊魚、鬥魚耐受性實驗結果解析

2-1 臨界溫度耐受性實驗結果解析

表 1 溫度耐受性實驗結果表

溫度耐受性	大肚魚	蓋斑鬥魚	三星鬥魚
臨界高溫 ()	41.6±0.8	40.4±0.5	39.7±0.2
臨界低溫 ()	7.3±1.2	10.8±0.9	12.2±0.5

三種魚類之溫度耐受性在臨界高溫與臨界低溫測試表現，以大肚魚之 7.3°C~41.6°C，優於蓋斑鬥魚及三星鬥魚的 10.8°C~40.4°C 及 12.2°C~39.7°C，根據實驗結果顯示，大肚魚的可承受溫度極限皆為最佳，因此其在成大人工濕地環境之溫差變異包容性大。

成大人工濕地於研究期間水質檢測水溫，在冬季監測記錄低溫 14.5°C；夏季記錄高溫為 31.5°C，夏季記錄高溫遠低於三種魚類的臨界高溫，因此在成大人工濕地可以存活無虞；然而，在冬季寒流來臨時，記錄低溫最低曾降至 9.0°C（人工濕地 B 池，2004.12.31），水中低溫對於魚類存活於成大人工濕地中有影響，而高溫影響並不大。故從水溫而言，大肚魚溫度耐受性最佳，蓋斑鬥魚次之，三星鬥魚較差。

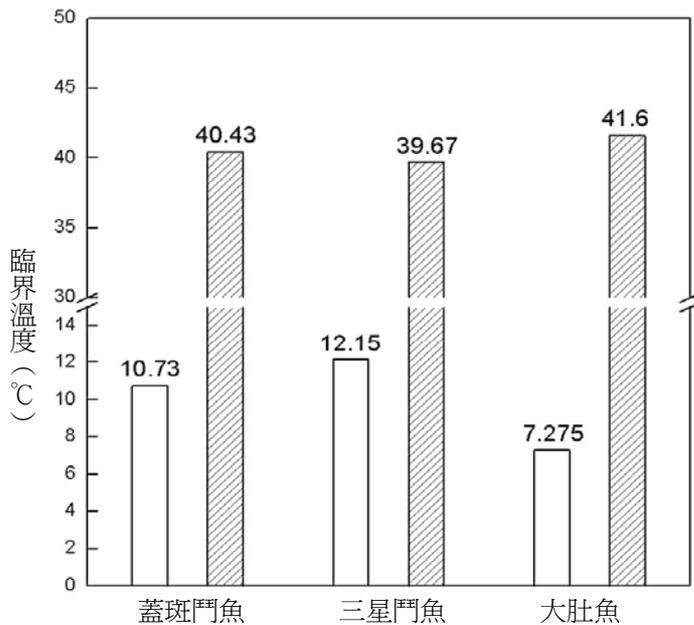


圖 4 臨界溫度耐受實驗結果

2-2 水中溶氧耐受性實驗結果解析

表 2 溶氧耐受性實驗結果表

耐受度項目	大肚魚	蓋斑鬥魚	三星鬥魚
最低溶氧 (mg/L)	0.99	無影響	無影響

在水中溶氧方面，高溶氧（過飽和）對於魚類生活並無影響，但是在人工濕地環境中，大多數屬於低溶氧環境，實驗結果如上表所示。大肚魚無法在溶氧低於 1mg/L 的環境中生存；三星鬥魚及蓋斑鬥魚則不受水中溶氧之影響。

大肚魚在人工濕地生存空間，溶氧為其關鍵因素之一，其在成大人工濕地存活環境限制於於人工濕地末端及景觀生態水池部分。因此，若要以大肚魚來控制子子數量，其較適合用於人工濕地末段及景觀生態水池段。

蓋斑鬥魚及三星鬥魚在低溶氧生活條件，並未受到限制，推測其原因為鬥魚科具有迷器（魚類輔助呼吸器官），可直接對空氣進行呼吸作用（水面上換氣）。因此蓋斑鬥魚及三星鬥魚生存空間，可在成大人工濕地全部範圍活動，故運用於控制子子數量是可行的。

2-3 氨氮急毒性耐受性實驗結果解析

表 3 氨氮耐受性實驗結果表

耐受度項目	大肚魚	蓋斑鬥魚	三星鬥魚
最高氨氮 (mg/L)	75.7	561.2	464.1

在氨氮急毒性實驗方面，蓋斑鬥魚耐受濃度高達 561.2mg/L，優於三星鬥魚的 464.1mg/L，遠高於大肚魚 75.7mg/L。氨氮濃度在成大人工濕地當中為 135.3mg/L，且魚類在濕地系統中會因水中污染物濃度而選擇棲息點之能力，足以度過高濃度衝擊（進流水濃度較高，而選擇至排放點位置），因此蓋斑鬥魚及三星鬥魚可以輕易生存於濕地環境中，但是大肚魚在氨氮方面，並無法承受高於 75.7mg/L 濃度，（成大人工濕地進流氨氮濃度介於 23.7~135.3mg/L 之間大幅變動）因此也限制了大肚魚在人工濕地存活之範圍。

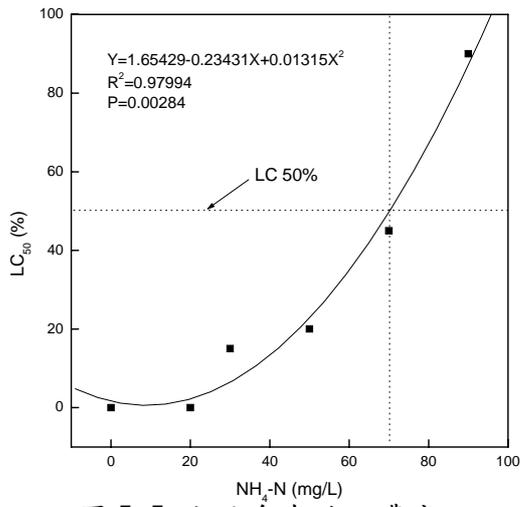


圖 5-5 大肚魚半致死濃度

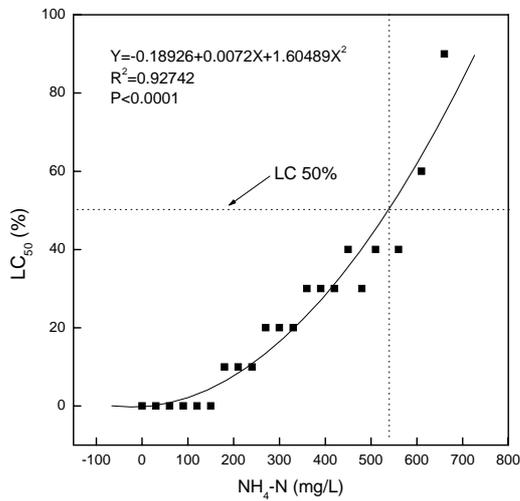


圖 5-6 蓋斑鬥魚半致死濃度

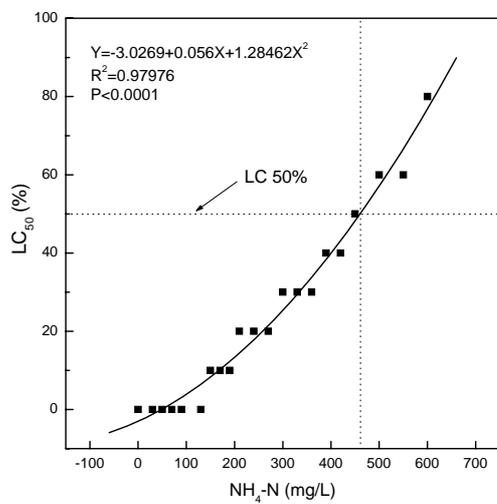


圖 5-7 三星鬥魚半致死濃度

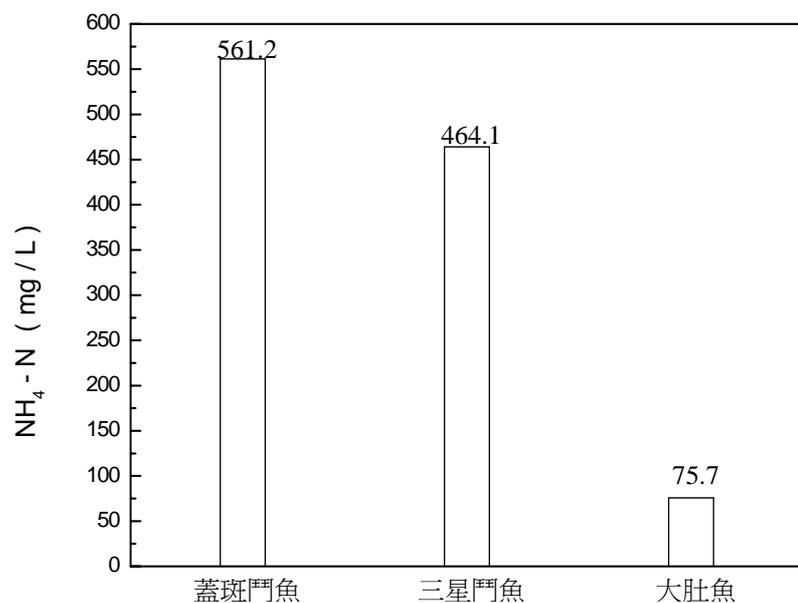


圖 5-8 氨氮急毒性耐受實驗結果

2-4 小結

表 4 耐受性實驗結果說明

耐受度項目	大肚魚	蓋斑鬥魚	三星萬鬥魚
臨界高溫 (°C)	41.6±0.8	40.4±0.5	39.7±0.2
臨界低溫 (°C)	7.3±1.2	10.8±0.9	12.2±0.5
最低溶氧 (mg/L)	0.99	無影響	無影響
最高氨氮 (mg/L)	75.7	561.2	464.1

本研究以成大人工濕地三種魚類作為耐受性實驗之研究，而蓋斑鬥魚、三星鬥魚及大肚魚也是台灣常見於一般田野、平地溝渠，易生存及繁殖的魚種。由於大肚魚及三星鬥魚皆為外來種生物，基於本土性生物優先使用原則，蓋斑鬥魚對於人工濕地及自然濕地等環境皆適宜生存，適合用於防制子孓產生。

附錄III 人工濕地維護管理手冊

第一章 人工濕地概論

1-1 濕地定義及功能

人工濕地係應用天然濕地生態系統中的功能及優點如：社經價值、環境品質價值及生物價值所建造成的污水淨化處理系統。人工濕地具有自然淨化、自行設計 (self-design) 及永續利用的特性，更具備建造成本較低、營運簡單和操作維護較容易等優點。

濕地中的水生植物根莖部分及濕地填充介質的部分可以創造多孔隙環境，以提供細菌、生物膜生長所需之環境條件，而植物可以傳送氧氣於水中供給水中微生物及其他生物使用，進而來處理污廢水當中的有機污染物。

1-2 人工濕地系統種類

人工濕地是利用濕地當中之各項自然反應參數及機制，進而用以淨化水質的一種屬於環境工程領域的技術，大致可分為表面自由水層流動式 (free water surface flow system, FWS) 及表層下流動式 (subsurface flow system, SSF) 兩大類：

1. 表面自由水層流動式

此為模仿天然濕地之水文及環境狀態的人工濕地。設計為淺凹窪地，底層具有土壤層或其他介質，以提供水生植物著根之用，並由水位控制設施來調整水深。進流水在窪地水層中自由流動，當水流經過土壤層、水層與植物的根、莖部接觸後，可達淨化效果。

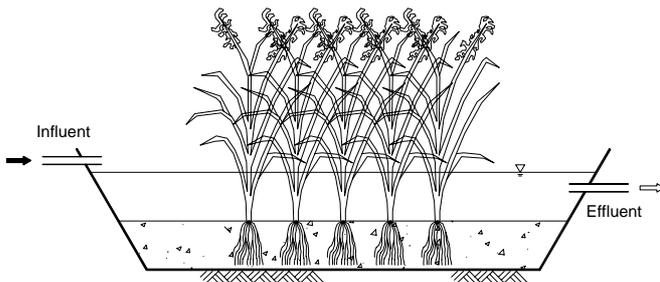


圖 1 自由水層流動式人工濕地系統

2. 表層下流動式

為一窪地，其中填充砂土或礫石作為介質，得以支持挺水性植物(的生長，進流水被迫在表層下的砂土、根系及根莖系間流動，以達到淨化效果，此種系統便是由根系區間法(root-zone method, RZM)與蘆葦床處理系統(reed bed treatment system, RBTS)技術演進而來。

水平流動型(horizontal-flow system)：進流由一端進入，水平流向另一端出口。

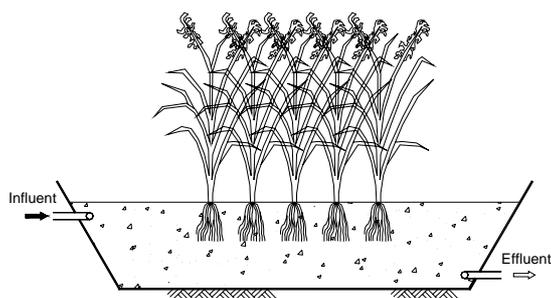


圖 2 表層下流動式人工濕地系統（水平流動型）

垂直接流動型(vertical-flow system)：進流方式由表面向下滲流至底部集流管。

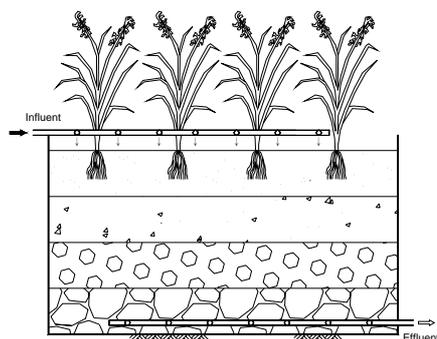


圖 3 表層下流動式人工濕地系統（垂直接流動型）

1-3 人工濕地去污機制

濕地水流流速緩慢（水力停留時間較長），容易形成一個良好的沈澱池，對於可沈降的有機物與懸浮物固體具有極佳的去除效果。人工濕地為一水生植物、微生物及相關棲息之生物所構成的生態環境，當中的介質或植物的根、莖系布滿大量生物膜，同時會產生過濾性的去除，而生物可分解或可溶解的有機物亦可藉由生物作用得以處理。

人工濕地在操作上不需要曝氣、攪拌、加壓等人為的動力輸入，亦不需加入任何化學藥劑、介質單體等人造物質，且污染物在人工濕地系統之『生態反應器』中，被去除的機制為多功能的也是全面性的，而且可同時發生，但單靠自然淨化速率較慢、較為複雜。

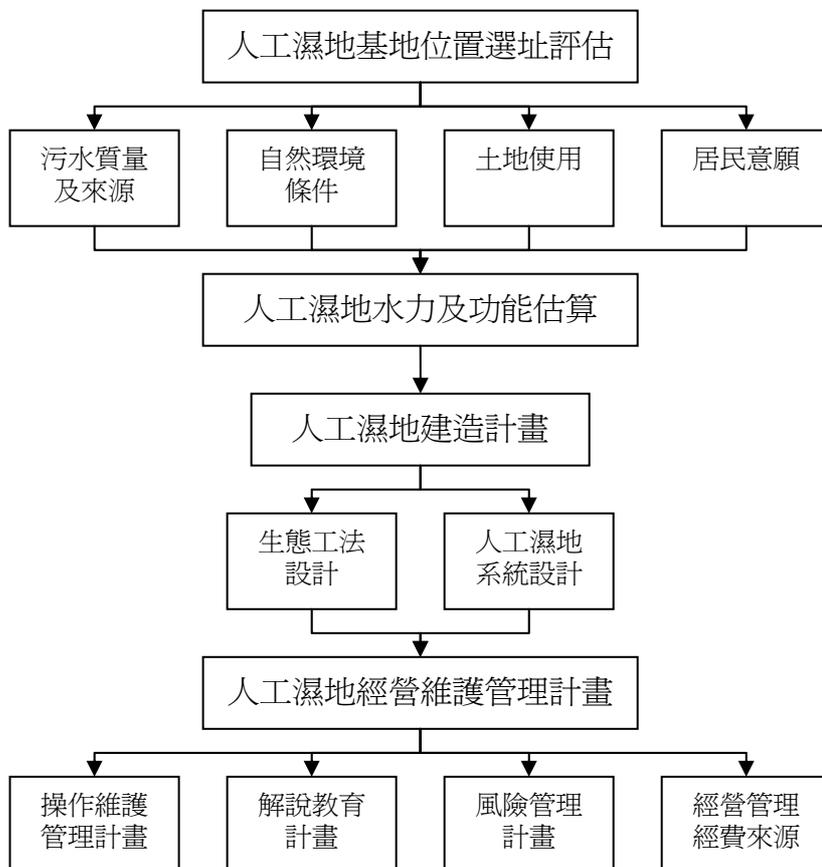
表 1 人工濕地去污機制

淨化機制	去除污染物
沈降(sedimentation)	懸浮固體及微生物
過濾(filtration)	懸浮固體及微生物
吸附(adsorption) 離子交換(ion exchange) 化學沈澱沈積(precipitation)	磷酸鹽、重金屬
微生物礦化作用(mineralization)及轉化作用(氨化、硝化及脫硝)	有機質、氨氮、亞硝酸氮及硝酸氮
同化作用(assimilation)及攝取作用(uptake)	有機質、氮、磷及重金屬
太陽輻射線作用(radiation)	病原菌
掠食作用(predation)	病原菌

1-4 人工濕地設計施工流程

1. 人工濕地設計流程

設計人工濕地從基地選址、水力估算、系統設計施工及後續的操作維護管理，應該按照計畫進行：



2. 人工濕地基地位置選址評估

基地位置選址應評估其可行性，例如人工濕地設置土地取得、周圍地區居民的設置意願、土地使用現況、該地區的氣候及自然環境條件等進行評估：

(1) 人工濕地設置土地取得

自然淨化程序節省了成本及能源耗損，但較緩慢的淨化處理程序需大腹地以符合的處理速率，因此，土地取得方便、有腹地擴充為考量方向。

(2) 周圍地區居民的設置意願

居民的意願可以影響人工濕地的成功與否。如在建設期間及操作維護管理階段，皆可與社區發展營造作結合，進而建立地區風貌及人工濕地的特色。

(3) 土地使用現況

人工濕地具有提升地區生物多樣性、保育動物、景觀美化及回收可再利用的水資源，故周圍土地使用現況若與人工濕地本身結合，可增加濕地的功能。

(4) 該地區的氣候環境條件

濕地系統處理廢水的主要機制是以生物淨化為主，濕地淨化效能受溫度（空氣溫度及水溫）影響非常大。

(5) 自然環境條件

自然環境條件包含：地形、土壤性質及當地生態系統。

a. 地形

濕地場址選擇以具有緩和地形（坡度不宜過大）且地形變化均勻起伏較小的基地為佳。人工濕地建造時期池底通常會設計 1~3% 坡度以利水流動。

b. 土壤性質

人工濕地設置用意為將廢水藉由植物吸收及底部介質、微生物等加以過濾淨化，所收集廢水應在土壤層上層滯留進行淨化，減少其滲入土壤下層。

c. 當地生態環境

人工濕地建立最初，需引進相關生物構築多樣化環境，使生態系統完善且快速達到生態平衡。同時對當地生態進行調查，避免引進生物種與當地生物衝突，並建立指標生物種類，其在於表現生態環境條件與環境適生性。

(6) 相關法令限制

人工濕地構造因環保法令所限，不得接觸土壤，以免污染土壤及地下水，通常採用不透水布等材質將其隔離。

3. 人工濕地水力估算

水力停留時間指的是進流水及出流水的平均流量，在濕地系統的平均停留時間（天）。一般而言，表面自由水層流動式人工濕地（FWS）設計水力停留時間，介於 5~14 天（Wood, 1995）。美國環保署對於生活污水二級處理設施所訂的 HRT 設計值，表面自由水層流動式人工濕地（FWS）及表層下流動式人工濕地（SSF）兩者設計值也是建議在 4~15 天（Metcalf & Eddy, Inc., 1991）。

除了設計 HRT，必須同時考慮生化需氧量（Biochemical Oxygen Demand, BOD）的負荷量（Manual）及污染物濃度目標（如放流水標準）。

4. 人工濕地建造計畫

人工濕地的建造不應大興土木，不需過多的工程設計，為一生態工程設計。以建材使用量觀點而言，天然卵石使用量越少、夯實用黏土減少採用，可使環境負荷降至最低。採用回收再生材料，減少天然資材使用，不僅達到廢棄物減量，同時也可減少使用地球資源，對綠建築永續發展之意義重大。

5. 人工濕地經營維護管理計畫

操作維護管理應定期進行，例如水流控制、植物採收，適時的操作與管理人工濕地可以保持淨化效益，且延長人工濕地的壽命。

第二章 人工濕地淨化效能維護管理計畫

2-1 啟動期及穩定期注意事項



什麼是人工濕地啟動期？

A：啟動期 (the start-up phase) 是人工濕地系統建造過程必經階段。當系統處於啟動期階段，其淨化性能尚未完全建立或趨於穩定，對於各項污染物淨化效能無法與穩定期 (the steady phase) 相提並論。淨化系統的啟動是由填充物(土壤或其他介質)、水生植物、微生物和操作時間所組成與影響。



啟動期時間約多長？

A：啟動期長短，在國內文獻方面，相關研究顯示表面自由水層流動式系統 (FWS) 大約需要二至三個月時間，而在表層下流動式系統 (SSF) 只要一個月；在國外文獻方面，美國建立人工濕地具有啟動期短的特點，其從幾週到幾個月都有 (IWA, 2000)。



啟動期間應如何照顧水生植物生長？

A：在污水進流操作上，新建立濕地在挺水性水生植物種植後，應緩慢提升水位置設計深度，避免植物不適應大量死亡，因此，建議在種植挺水性植物應有兩週調整水位適應期 (浮水性植物無此顧慮)。而水力負荷方面，應由原設計每日處理量的 1/3 以下水量，開始逐步提高進流量至設計處理量，這段水量調整期間在夏季約為兩週，在冬季約一個月。



什麼是人工濕地穩定期？

A：穩定期 (the steady phase) 即為啟動期後，人工濕地系統進入正式進流設計污水量的時期，也是整個濕地淨化效能可達最佳階段。



人工濕地穩定期淨化水質再利用及標準？

A：人工濕地處理生活污水，水質達到國家排放水標準，並讓排放水進入景觀生態水池，延長水力停留時間。淨化後的水也可進行再利用 (如澆灌、沖洗廁所及洗車等)，若為清洗廁所用之水應在經過消毒程序再作利用。

2-2 水質檢測維護管理



水質檢測的目的為何？

A：人工濕地進行週期性水質檢測，其主要目的在於瞭解淨化性能是否有依據當初設計之效能，以此判斷淨化系統是否正常運轉，確保人工濕地性能。



水質淨化標準應符合法規？

A：污水經過人工濕地淨化以後，當要進行水資源回收在利用考慮時，應檢討是否符合相關法令標準，以免觸犯相關法令。所以水質檢測的意義為確保利用時，不會對於承受水體或土壤環境生態形成負面影響。

表 2 我國各項排放水質及水資源再利用標準

項目 法令	建築物污水 處理設施放 流水標準 (92年)	陸域地面水體水質 (87年)		灌溉用水標準 (92年)	土壤處理標準 (施灌花木) (93年)
		丙類	丁類		
水溫 (°C)	38	-	-	35	35
pH (無單位)	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0
DO (mg/L)	-	4.5 以上	3.0 以上	3.0 以上	-
導電度 (µS/cm25°C)	-	-	-	750	-
TSS (mg/L)	30	40	100	10	30
BOD ₅ (mg/L)	30	-	-	-	30
COD (mg/L)	100	-	-	-	100
NH ₃ -N (mg/L)	-	0.3	-	-	-
TN (mg/L)	-	-	-	3.0	15
TP (mg/L)	-	-	-	-	2
總大腸桿菌群 (CFU/100ml)	200,000	10000	-	-	200

本研究整理，表列項目並未完全。說明：

1. 丙類：適用於三級公共用水、二級水產用水、一級工業用水、丁類及戊類。
2. 丁類：適用於灌溉用水、二級工業用水及環境保育。
3. 三級公共用水：指經活性碳吸附、離子交換、逆滲透等特殊或高度處理可供公共給水之水源。
4. 二級水產用水：在陸域地面水體，指可供鱸魚、草魚及貝類培養用水之水源。
5. 一級工業用水：指可供製造用水之水源。
6. 二級工業用水：指可供冷卻用水之水源。
7. 戊類：適用環境保育。



水質檢測項目有哪些？

A：水質檢測項目主要可將其分成物理性檢測及化學性檢測兩大類，物理性檢測項目有：水溫、溶氧（DO）、氫離子濃度（pH）及導電度（EC.）；化學性檢測項目有：總懸浮固體（TSS）、總氮（TN）、總磷（TP）、生物需氧量（BOD₅）及化學需氧量（COD）：

表 3 人工濕地水質檢測記錄表

水質檢測地點：	檢測日期：		
水檢測時間：	該時天氣情況：		
檢測項目	進流端	排放端	去除效率
溫度（℃）			
pH（-）			
溶氧 DO（mg/L）			
導電度 E.C.（ μ mho/cm）			
濁度（NTU）			
總懸浮固體 TSS(mg/L)			
生物需氧量 BOD ₅ （mg/L）			
化學需氧量 COD(mg/L)			
總氮 TN(mg/L)			
總磷 TP(mg/L)			
其他			
進流水表水量（m ³ ）			
出流水表水量（m ³ ）			
污水進流狀況是否異常			



應該多久進行一次水質檢測而檢測經費需要多少呢？

A：水質檢測週期可依照人工濕地啟動期及穩定期加以劃分，當人工濕地於啟動期時系統較不穩定，因此需要較密集的進行觀察檢測，就物理性檢測部分可以一週進行一次，而化學性檢測部分為一個月一次。當人工濕地系統達到穩定期，系統淨化效益佳且穩定，若經費許可，可以季為單位進行檢驗，最少檢測週期為每半年一次進行檢測（可以委託經行政院環保署認證合格水質檢測公司來執行）。其檢測經費概估如下：

1. 物理性檢測實施

檢測項目：有溫度、氫離子濃度 (pH)、水中溶氧 (DO)、濁度 (Tu) 及導電度 (EC.) 等五項。

計費基準：上述五項水質項目之檢測費用，平均單項金額為 300 元（經行政院環保署認證合格水質檢測公司之收費標準）。

2. 化學性檢測實施

檢測項目：總懸浮固體 (TSS)、生化需氧量 (BOD₅)、化學需氧量 (COD)、總大腸桿菌群 (TC) 及總氮 (TN) 等項目。平均檢測費用單項金額為 1,000 元（經行政院環保署認證合格水質檢測公司之收費標準）。



採樣點應設立於人工濕地的哪個位置？

A: 採樣監測點設立主要位於人工濕地的重要節點處，例如進流點、排放點，若人工濕地面積較大或分數個槽體，亦可於各槽體進流點、排放點及中間點設置採樣監測，以利檢測作業進行。

2-3 系統設備操作維護管理



系統設備操作維護管理的目的為何？

A: 淨化效能為設置人工濕地的首要目標，對於如何確保其淨化效率，除了正確的水力估算與流程設計外及落實施工品質外，更重要為日常階段的維護管理，而系統設備操作維護管理主要目的為確保人工濕地可以正常運轉，並保持最佳的淨化效果及狀態。

在系統設備操作維護管理主要將其分成：淨化效能確保、基本設備管線維護、緊急停止進流步驟及方法。

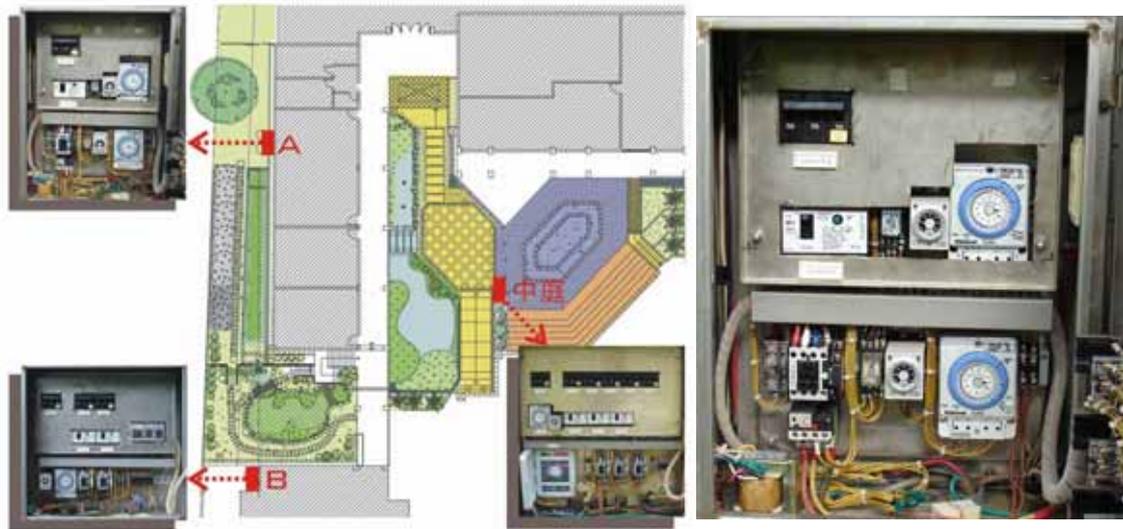


人工濕地淨化效能如何確保？

A: 污水進流量為控制人工濕地運作及淨化效能的重要條件之一，進流量控制方式常見有兩種，一為以時間控制裝置調節泵浦抽水時間，以調控進流量；而另一種為以流量計直接計算進流量。維護管理人員可以藉由流量計或定時抽水裝置觀察得知每日人工濕地進流量及排放量，以確認人工濕地可正常

收集污水。

維護管理人員應於每週定時檢測進流水、排放水及操作控制盤是否有正常運作，人員於觀察進流水同時，應注意進流點是否有遭異物堵塞情形（枯枝、落葉及藻類等），其容易對留入水量造成影響，應將其移除避免降低水質淨化。



除了藉由水量計觀察進流出流量，如何得知各槽體水深及水流？

A：人工濕地系統於興建之初水深及水流設計已定，由於水力停留時間長，所以水流不易觀測；而水深觀測方面，人工濕地的淨化槽體可能因設計考量分成數池，各淨化槽體間是以連通管控制水的流動，因此，維護管理人員只要記錄進流點或排放點處設置的水位量尺，即可得知水深及水流狀況。

某些人工濕地水位變化一天高低差變化最高可達兩公分（推論為蒸發散速率快），雖然用於收集的水用於澆灌綽綽有餘，然而若於枯水期（例如冬季或學校寒、暑假）時，澆灌用水大幅減少不容忽視，定時澆灌系統應視季節氣候情形調整澆灌水量及週期（如水量豐富時一天可澆三次水，若為乾季可調減成一至二次）。



人工濕地基本設備管線應如何進行維護管理？

A：人工濕地不需要鋼筋混凝土槽體或機房設施，也不耗用大量的電力去推動抽水幫浦、鼓風機、污泥脫水機、攪拌機等設備，其所需設備管線僅有濕地進流水泵浦、各槽體連通處、迴流設施（泵浦及管線）及水質檢測點，故維護管理人員只要針對上述幾處檢修即可。設備管線維修主要為定期檢查，每季檢修即可。



當發現人工濕地淨化功能異常，例如水體變黑發臭、動植物大量死亡、淨化效益降低或無法達到排放水法規標準時，應如何處理？

A：淨化功能異常指系統無法有效的處理進流水質，即淨化效益降低，無法達到法令放流水標準時，應減低水力負荷或直接停止進水。而重新進水時應注意不可一次將進流量提高過多，應逐步增加污水量，避免水中生物、植物無法負荷導致死亡。



當水體被置入有毒異物應如何處理？（例如：水體出現大量泡沫、生物大量死亡、水體混濁）

A：水域可能由於人為不當操作，導致有毒異物流入水中危害生物，例如清潔劑、地板打蠟、不當噴灑殺蟲劑或人為倒入剩菜剩飯等，對濕地生態造成嚴重影響，先停止污水進流並檢討使受污染的水體對生物傷害減至最低。

當水體遭受異物為油類，一般而言維護管理人員可暫時引入乾淨水源進入人工濕地，利用溢流的方式，可稀釋水中有毒異物濃度，並可排除表層油污。



當進行水位觀察時發現水位異常（驟降或急升）應如何處置？

A：濕地水域因日曬而蒸發的水會使整個濕地水深每日下降一公分，因此人員於每日固定時間應檢視水位深度，若深度落差過大（超過五公分），則應停止進水，檢討是否為設備管線問題或是氣候問題影響，若為設備管線問題，應檢查是否有槽體破裂或管線毀損導致漏水，找出問題並解決；氣候因素影響為自然因素，故無法避免，管理人員可以定期記錄，調查人工濕地因季節性因素而減少水量的關係。



人工濕地水體過度混濁要如何處理？

A：當水體過度混濁時，應先停止進流水，讓水體有充分時間自淨，使沈澱物質下降，濕地會自動恢復原貌。若遭異物污染，應該要找出污染源，並移除污染源。

第三章 人工濕地生態環境維護管理計畫

3-1 人工濕地生態系統調查



如何辨識人工濕地的生物種類及應如何進行調查？

A：人工濕地建立最初，需引進相關生物構築多樣化環境。同時對當地生態進行調查，避免引進生物種與當地生物衝突，並建立指標生物種類，在於表現生態環境條件與環境適生性。人工地生物調查方法主要有以下幾種：

1. 鳥類調查方法

鳥類調查時間為每個月兩天，每天次調查共兩時段，分別於 12:00~13:00 及 17:00~18:00(大部分鳥類為晨昏活動)各進行一次調查。調查以定點為主，每個系統選擇一定點，先聆聽五分鐘以聲音辨識，紀錄所得鳥種及數量等級(I：單隻鳴叫，II：三隻以內鳴叫可計數，III：多隻鳴叫不可計數)，之後定點以望遠鏡搜尋系統範圍，記錄所得鳥種及實際看見數量，每次搜尋觀察十分鐘結束。則該月份系統鳥類之名錄為聲音辨識及定點觀察所得之總數。

表 4 鳥類調查紀錄表

調查地點：		時間：	
調查人員：		開始時間：	結束時間：
物種	數量	棲地類型	備註(鳴叫計數等級)

2. 兩棲類調查方法

兩棲類調查時間為每個月兩天，每次於當日夜間 8:00 開始進行調查。調查以定點聲音辨識與穿越線調查進行，定點法為在每個濕地選擇一定點，先聆聽五分鐘以聲音辨識，紀錄所得兩棲類物種及數量等級(I：單隻鳴叫，II：三隻以內鳴叫可計數，III：多隻鳴叫不可計數)；之後沿固定之穿越線路線，以手電筒照明，目視搜尋穿越線兩側一公尺範圍內兩棲類可能躲藏的地點，並錄音記錄所得物種、數量與全部調查時間。

3. 爬蟲類調查方法

每一系統爬蟲類調查時間為每個月兩次，兩調查時間間隔 10 天，每天次於當日之 12:00~15:00 進行穿越線調查，於此時段內間每隔 30 分鐘進行一次調查，

共調查三次，每次調查時間均於 30 分鐘內。穿越線調查如同兩棲類，沿固定之路線以目視搜尋，並記錄所得物種及數量；由於部分爬蟲類為夜行性(如大部分蛇類與蝎虎)，因此當天夜間進行另一時段穿越線調查。

4. 昆蟲與無脊椎調查方法

調查時間為每個月三次，三次調查日期間隔 6 天，每次於當日之 12:00~16:00(日行性)與 20:00~24:00(夜行性)進行調查。在兩調查時段內每隔 30 分鐘進行一次調查，各進行 3 次穿越線調查，每次調查時間為 60 分鐘，沿固定之路線以目視搜尋。調查時，記錄所能分辨物種並拍照記錄，無法辨識之物種則以掃網捕捉加以拍照以供查詢。

表 5 昆蟲與無脊椎調查紀錄表

調查地點：		時間：	
調查人員：		開始時間：	結束時間：
大類	物種	數量	備註
蛛形目			
鱗翅目			
蜻蛉目			
半翅目			
鞘翅目			
雙翅目			
膜翅目			
蜚蠊目			
直翅目			
螳螂目			
其他			

5. 魚類調查方法

每個月兩次，每次於當日之 12:00~14:00 進行調查。於調查時段內在各濕地隨機選定 5 個樣點，以直徑 30 cm，網目 4 mm 的撈網進行採集，每次將網深入水 10 cm，向前揮動 1 m，於一定點周圍撈取 2 次。此外，有些物種可直接由水面判定，卻撈不到則以目視直接計數，如黃鱔。

6. 底棲昆蟲與水生無脊椎生物調查方法

每月中採集一次，各採集五個點。採集方式以底泥採樣器取得樣本，採集所得之樣本置於孔目 0.5mm 之篩網去除泥沙，將篩網中剩下之樣品裝入盛有 70% 酒精之標本瓶中帶回實驗室以解剖顯微鏡鑑定，物種分類至科。

7. 藻類與微小生物調查方法

依據環保署公告「湖河池泊水庫藻類採樣方法」(NIEA E504.41T)進行，每月每系統採集一次，所得樣品馬上進行鑑定，並不進行保存之步驟處理。

3-2 植物生態環境維護管理



進行植物採收的目的為何？

A：植物在人工濕地的淨化效能並不是佔最大宗，相關研究報告指出人工濕地水生植物的淨化功能約佔 30%，其餘水中微生物等為最多。然而，以景觀化人工濕地來說，人工濕地除了追求高效率的淨化成果外，其更應該具備有營造小生物棲地功能及植物綠美化等附加的功能。

人工濕地植物採收主要原因有以下幾點：

1. 減少枯枝、落葉掉入，避免吸收的物質再度回到水體中，造成水質二次污染
2. 清除藻類及漂浮性水生植物降低優養化，且陽光有助濕地系統水質淨化
3. 清除部分水生植物可以增加水中生物的活動範圍
4. 防止病媒蚊及致病菌繁殖滋生機會，增加水體與陽光接觸曝曬減少致病菌
5. 強調該地區景觀意象、景觀綠美化建立



進行植物採收人員應有哪些裝備？

A：人工濕地系統以淨化污水為目標，進流於處理單元的水源來源為生活污水，因此在處理單元中進行各種動作時，均須考慮以公共衛生的問題，以避免在污水中的細菌對人體造成危害，其中，植物的採收為管理維護自然淨水系統時，最易直接接觸處理單元中污水的工作之一，因此進行系統水生植物的採收時，需考慮以下裝備：連身漁夫裝、長型的橡皮手套、口罩、帽子及採收植物工具等





陸域植栽及周圍環境應注意事項及如何維護？

A：人工濕地應賦予園區環境有更多元化的意義，例如：景觀綠美化的環境、多樣化的棲地空間、提供休憩、遊憩使用場所。陸域植栽與淨化效益無直接關連，但仍應定期對植栽進行修剪。濕地周圍環境植栽種類多為原生及園藝造景用植物，植物選種以低維護種類為主要，但當發現野生藤蔓生長過快、先驅樹種繁衍過盛及常見野花雜草過於茂密，應將其部分移除：

1. 野生藤蔓類

野生藤蔓類應給予適時的控制，當野生藤蔓隨著圍牆的攀附可以形成極佳的綠籬效果，其生長的果實可以提供誘鳥；生長的葉可供蟲食，為食源所在。但當野生藤蔓類生長沒有控制，容易造成其他植栽樹種無法吸收到充足的養分及陽光，而導致植栽死亡。例如：空心菜生長過於快速，容易攀附在其他水生植物（如香蒲、蘆葦）上面，造成植物毀損且維護困難，若缺乏維護人力應避免栽種。

2. 常見先驅樹種

常見先驅樹種（如構樹、相思樹、血桐、木瓜樹）生長速度快，且並非長在固定區域，因此易妨礙濕地景觀綠美化或影響水質淨化，維護管理人員可依樹種影響程度判斷是否應該移除。

3. 常見野花雜草

常見的野花野草通常以台灣原生種較為常見（如日日春、蒲公英、野荳、紫花霍香薊），其可以增加整個濕地環境的庭園造景，而植物的豐富且多屬原生種使濕地系統的生態更加豐富。在不妨礙人員使用及景觀美觀外，可任其生長。



水域植栽應注意事項及如何維護？

A：水生植物會因水質條件不同，而處於濕地水域不同位置。進流點處由於污水濃度高，必須栽植耐污性較高水生植物（蘆葦、香蒲、水芙蓉及布袋蓮等）增加淨化效益，防止污水進流濃度過高導致死亡；而其他區域隨著淨化過後污染源濃度不斷減低，可種植多樣的水生植物，豐富濕地生態系統。水生植物採收作業可依種類分成三類：藻類及漂浮性植物等生長快速水生植物、挺水性耐污性高植物、一般性水生植物。

1. 藻類及漂浮性植物等生長快速水生植物

藻類及漂浮性植物其最大特色是生長非常迅速，人工濕地常見藻類有水綿、

新月藻等；浮水性植物包括布袋蓮、水芙蓉等，其生長速度極快。藻類生長過多容易造成水華現象 (bloom)，其有礙景觀且增添維護管理的負擔；浮水性植物過多將會遮蔽整個水域水面，水體無陽光照射生物容易因缺氧死亡，而老化植物落入水中會增加水中污染濃度。

人工濕地於春夏兩季藻類繁殖速度異常的快，採收清除作業兩週清除一次，當生長過於茂密也有一週清除一次；而秋冬兩季由於溫度低及陽光等因素影響，繁殖速度緩慢，其採收週期為每三週一次。每次採收清除數量為 70% ~90% (清除量 (%) = 清除植物面積 / 該植物總面積)，人工濕地藻類採收不建議全部清除，由於水中有飼養黑殼蝦及其他魚種吃食藻類控制速度，且蓋斑鬥魚及其他水中生物有許多是以藻類為棲息生育環境，撈除數量不宜過多。

漂浮性水生植物雖然生長速度快，但四季生長情形較為穩定並無異常繁殖的情形產生，其為部分清除，週期約六週一次。例如：布袋蓮、水芙蓉等，其每次清除數量為 30% ~50% ，由於其生長速度不似藻類會異常快速繁殖，因此若過度採收將會影響其質生族群分布，故不適合過度人為干擾影響，且對於子孓孳生問題防制，其中一個防治方法即為增加漂浮性水生植物覆蓋面積防制子孓孳生，所以，若漂浮性水生植物長於進流端，應考慮減少其移除數量避免子孓孳生。

2. 挺水性耐污性高植物

如香蒲、美人蕉、輪傘莎草等，每個月定期修剪枯枝，而大量採收時為以季為單位進行採收。人工濕地於春夏兩季會進行大量採收挺水性植物的作業；冬季採收週期由於植物生長速度較緩，因此以一至二個月修剪整理一次即可。

挺水性耐污性高植物其每次清除數量為 40% ~60% ，挺水性植物根系較為茂密，為最適合當作人工地淨化之水生植物，其清除作業以修剪枯枝為主，避免落葉枯枝地入水體對水質造成二次污染，而季節性採收選於春夏交替兩季之間，其主要原因為修剪過後植物長出新枝葉，將可更有效吸收水中污染物質，提升淨化速率。

挺水性植物大量採收方法建議分區域採收，例如污水進流端濃度過高生長不易，可以考慮採收量減少，此外，不應進行全面式採收，以香蒲為例，採收方式應以跳行採收而不是全面採收，全面採收將影響植物生長復原速度。

3. 耐污性低水生植物

耐污性低水生植物如生態水池常見植物其生長速度普通，因此植物採收情形並不常見，以半年為一單位進行採收即可，例如大安水蓴衣、澤瀉等。採收週期

視植物生長狀況而定，由於水質污染濃度不同，植物生長的體態形狀數量也會有所差異，故採收數量應由管理人員自行判斷，以不影響族群生長為原則。

3-3 具威脅性生物維護管理



人工濕地為何會有具威脅性生物產生？

A：人工濕地系統當興建完工，予以施放的魚類及水生植栽培育外，經過啟動期後系統功能正常運轉，也會陸續吸引其他生物棲息進入，促進生物多樣化環境發展。但所吸引生物或隨水生植物栽種夾帶進來生物，也有數種（極具威脅性生物）會造成其他族群大量銳減，導致濕地生態系統不平衡（單一物種族群過多、過於優勢），應極力避免。



什麼是人工濕地的具威脅性生物？

A：本文所指具威脅性外來種生物，是指非人工濕地系統計畫引進及當地原有生物種類的生物，有別於一般所稱台灣原生種及外來種。被規類為具威脅性外來種生物，是維護管理人員進行生態調查記錄時，發現其會對濕地生態系統各物種生存構成威脅，將其列舉出來，當再次發現則予以移除。



常見的具威脅性生物有哪些？

A：

1. 烏龜

烏龜為雜食性動物，嗜吃小型水生動物；對水生植物會咬食根莖葉，食量龐大對水中生物造成影響。推估來源為人為放養，若周圍環境有水域空間，例如校園內的湖泊、公園池塘等，烏龜亦會有遷徙的情形產生。

人工濕地捕獲烏龜



2. 吳郭魚

吳郭魚會捕食比其體積小的水生動物，過多將破壞整個人工濕地系統生態。其來源為假日時來濕地休憩的民眾帶來放養，若發現放養情況因及時勸導制止。

3. 牛蛙

牛蛙是體型最大的蛙類，除了雜食性外，也是所有蛙類的天敵，通常有牛蛙的地方很少會有其他蛙類產生。牛蛙為人為放養或從養殖場逃脫，應將其移除。

大型蛙類—牛蛙



4. 福壽螺

福壽螺通常是隨著植物夾帶進來，在栽植水生植物的同時，必須先檢查後再植入水中。而福壽螺產卵於植物的莖上面時，須盡快移除避免繁殖。

福壽螺卵



5. 其他具破壞性魚種

其他具有對生態平衡破壞的魚種（慈鯛科等），需由維護管理人員進行辨認後檢討，若判斷對於人工濕地水中生物會造成影響，因盡快移除。其主要為人為放養，若發現民眾放養，應進行宣導並排除。

6. 流浪狗

流浪狗對人工濕地而言問題亦不容小覷，在公共衛生問題部分，大部分溫血

動物例如貓、狗、鳥類等，都有帶菌的可能性存在，人工濕地為一般民眾皆可隨意逗留、休閒遊憩之處，更是不容忽視此問題，當發現貓、狗進入應將其驅離。
校園流浪狗逗留人工濕地飲水



第四章 人工濕地公共衛生維護管理計畫



人工濕地容易產生的公共衛生問題有哪些？

A：公共衛生環境問題主要有水媒致病菌及衛生害蟲防制兩大部分，由於人工濕地可能存在有水媒致病菌，如大腸桿菌、沙門氏菌、志賀氏菌等；而衛生害蟲主要為病媒蚊、蟑螂、蒼蠅、老鼠等，對於如何抑制生長或由人工濕地自行淨化去除，將為公共衛生問題所關切。

沙門氏桿菌分佈很廣可在土壤、家畜及野生動物體內發現，其傳染途徑可經由食用未熟食物，及接觸到被帶原者的排泄物污染的水或食物而感染。若食入十萬隻以上的沙門氏菌，可能出現腹痛、腹瀉、發燒等症狀；而繁殖的細菌也會隨患者的排泄物排出，有機會再使他人受感染。

志賀氏桿菌是一種格蘭氏陰性菌，其傳染途徑包括人與人直接接觸病菌由口進入人體或食入遭污染的食物和水，故要預防傳染病應從養成良好的生活習慣，如廁後和接觸食物前應先洗手，才能有效防止疾病發生。

台灣登革熱的病媒主要為埃及斑蚊及白線斑蚊，容易棲息於各種積水容器。此外，一般家蚊也可能為病媒蚊，在美國蔓延的西尼羅腦炎病毒即是透過家蚊完成生活史，寄生於家蚊的唾腺藉由叮人傳染給人類，輕者出現發燒、頭痛等類似感冒症狀，嚴重者會導致腦組織發炎。

蒼蠅容易孳生於容易產生臭味之動物排泄物、腐爛的各種植物有機質中，一般被認為能傳播痢疾、傷寒及寄生蟲卵。

蟑螂雖然不是直接將疾病傳給人類，卻因其雜食性而間接將病原體污染到人類的食物及餐具。引起食物中毒之沙門氏桿菌會隱匿在蟑螂的分泌物及排泄物中，當蟑螂爬過食物或餐具即會留下病菌，蟑螂帶菌並非與生俱來，而是來自於污染的環境。



4-1 人工濕地水媒致病菌抑制計畫



如何得知水媒致病菌是否有抑制排除？

A：水媒致病菌無法由肉眼直接觀測，如何得知人工濕地系統是否有達到公共衛生安全標準，維護管理人員可以藉由指標微生物的判定及水質檢測結果，得知系統的情況。



什麼是指標微生物？為何以大腸菌類當作指標微生物？

A：不論是廣義或狹義，生物在生態系中適度的扮演著生存與繁衍的任務，與他種生物合作、競爭的模式並營造最適環境。指標微生物表達環境的條件與適生的程度。

在地面水中，“大腸菌類：大腸菌類噬菌體：腸道病毒”，三者比例一般約在100,000：100：1，這種比例隨季節等因素可以有一定的變動。從數量看，水中大腸菌類遠較水中腸病毒為多，通過人工濕地水質處理，如水中的大腸菌類數能減少至符合水質標準，按理水中的病毒也應被除去。因此大腸菌類的檢測被視為重要的水質指標微生物。



當水質檢測發現指標微生物及其他水媒致病菌數量過高應如何處理？

A：

1. 大腸菌類

一般而言經過人工濕地水質淨化後，大腸菌類數將會大幅減少，人工濕地可經由水質檢測得知是否有符合法令標準，若不合規定可以藉由延長水力停流時間（HRT）、降低水力負荷或停止進流等，以減少大腸桿菌數量。

2. 沙門氏桿菌

沙門氏桿菌廣佈於人類的生活環境中，尤其最容易寄生在動物糞便中。因此放流水經人工溼地水中植物淨化處理後，該菌種是否依然存在對人體造成威脅，在水質檢測中亦極為重要。人工濕地用於淨化污水效果良好，在沙門氏桿菌部分，在人工濕地各池數量明顯減少，且出現檢測位置皆不同，故研判為數量過少或部分人工濕地池有溫血動物（貓、狗、鳥類等）進入棲息引起。

3. 志賀氏桿菌

志賀氏菌被認為是桿菌性痢疾的致病原，如不幸感染可能有腸絞痛、水樣腹

瀉及血便情形。人工濕地用於淨化污水效果良好，在志賀氏菌部分，在人工濕地各池數量雖檢驗呈陽性反應，但為季節性產生且無法得知其切確數量，推論為數量少或溫血動物（貓、狗、鳥類等）進入棲息引起。

人工濕地為開放性空間，無法阻止生物進入棲息，而目前沙門氏菌及志賀桿氏菌並無法切確得知其危險性存在，且其族群數量遠低於大腸菌類（指標微生物），在水媒致病菌抑制部分，若大腸菌類數已符合法令標準，則沙門氏菌及志賀桿菌應可減至最低。

4. 阿米巴原蟲

阿米巴原蟲的感染又稱為阿米巴病(amebiasis)，其主要感染症狀可能為慢性輕微腹瀉甚至爆發性的痢疾，其常存在於水、土壤和腐殖質中。人工濕地少有其存在較無疑慮。

5. 寄生蟲卵

寄生蟲包括如蛔蟲、蟯蟲、鞭蟲等，常見於糞便中亦喜愛藏身泥濘、陰暗處；由於人工濕地本身水中生物生態系統穩定，因此經由水中生物進行捕食及原水本身數量不多緣故，較無公共衛生致病疑慮。

4-2 人工濕地環境衛生害蟲排除計畫



如何控制病媒蚊及孑孓數量？

A：以人工濕地而言，表面自由水層流動式系統(FWS)易有孑孓孳生的問題。蚊子數量的控制是濕地維護管理課題，國外專家建議控制方法為維持BOD負荷率在110kg/ha/d以下，以避免可能發生厭氧狀態的淤塞區（林正芳等譯，2000）。因為在自然界中，蜻蜓與水生甲蟲等孑孓的天敵必須在好氧(DO>4)的環境下生存。

控制蚊子的方法包括：避免水流淤塞（短流）、種植浮萍或浮水性植物遮蔽水面、降低污染濃度負荷、生物防治方法—以生物捕食蚊子及孑孓(USEPA)



當發現病媒蚊或孑孓大量孳生應如何處理？

A：對於季節性孑孓大量繁殖現象，目前根據人工濕地案例調查結果，表面自由水層流動式系統，冬季孑孓數量有暴增的現象，若維護管理人員發現孑孓數量過多，應先檢視系統中魚類數量是否有大量減少，並放入食蚊魚及降低水力負

荷以避免孑孓過度孳生。

而水生植物根系也是妨礙植物活動空間極大原因，例如空心菜、粉綠狐尾藻等挺水性水生植物，其根系過長將會使水中生物無法在水中正常活動，造成某些地區捕食孑孓魚類無法過去捕食的現象，應清除植物避免此情形發生。



如何避免蒼蠅及蟑螂產生？

A：人工濕地環境以進流點處原水臭度最高，所以較易招致蟑螂及蒼蠅，人工濕地主要常見的蟑螂種類有美洲蟑螂及德國蟑螂，兩類蟑螂性喜溫暖、潮濕，於春、夏兩季較為常見；但是秋、冬季由於溫度降低，因此害蟲出現數量也隨之減少，甚至消失不見。蟑螂出現主要原因推估，為民眾遺留食物碎屑及周圍環境若有設置垃圾桶等，將較容易導致蟑螂產生。

人工濕地進流端部分應設置管制設施，避免民眾誤入造成公共安全危害。且於平時宜宣導民眾避免隨意餵食濕地生物、應保持周圍環境清潔，以免濕地環境成為衛生害蟲孳生源。

建築基地保水貯集技術設計規範與法制化研究
子計畫：人工濕地公共衛生及維護管理之研究

參考書目

內政部建築研究所。綠建築解說與評估手冊 2003 年 更新版。台北市：內政部建築研究所，民國九十一年。

內政部建築研究所。綠色廳舍改善計畫成果簡介。台北市：內政部建築研究所，民國九十二年。

行政院環境保護署。動物生態評估技術規範。台北市：行政院環境保護署，民國九十四年。

林憲德。熱濕氣候的綠色建築。台北市：詹氏書局，民國九十二年。

林憲德。城鄉生態。台北市：詹氏書局，民國八十八年。

林憲德。現代人類的居住環境。台北市：胡氏圖書，民國八十三年。

陳瑞鈴、林憲德、廖朝軒。都市生態貯留水循環技術之研究。台北市：內政部建築研究所報告，民國九十一年。

何明錦、洪玉珠。人工濕地水質環境衛生之研究。台北市：內政部建築研究所協辦研究成果報告，民國九十四年。

大連理工大學出版社，風景建築學場地工程，中國：大連理工大學出版社，2002 年。

郭一羽，水域生態工程，台中：滄海書局，民國九十二年。

歐陽喬暉，污水處理廠操作與維護。台北：詹氏書局，民國九十三年。

安樹青，濕地生態工程—濕地資源利用與保護的優化模式，中國：化學工業出版社，2002 年。

行政院環境保護署。『生物實驗與生物監測人員訓練班』訓練教材。台北市：行政院環境保護署，民國八十一年。

建築基地保水貯集技術設計規範與法制化研究
子計畫：人工濕地公共衛生及維護管理之研究