

壹、研究緣起

我國現行飲用水水質標準總溶解固體量和總硬度已依據行政院環保署民國 92 年 5 月 7 日(環署毒字第 92-28896 號令)公佈之『飲用水水質標準』，由第一階段的 800ppm 和 500ppm、第二階段的 600ppm 及 400ppm，提昇至民國 94 年 7 月 1 日已實施第三階段飲用水水質標準，其總溶解固體量和總硬度分別降為 500ppm 和 300ppm；而從第一階段提昇至第三階段這期間自來水相關單位投資龐大改善設備經費致力於水質之提升，來配合政府政策。可見政府相當重視自來水水質及民眾用水權益，惟水質之提升，應從源頭水體水質改善做起，才能事半功倍並得量足、質優、潔淨、自然的自來水。

台灣水利工作環境已大幅改變，尤其水庫集水區的過度開發和頻繁的人為休閒活動，使台灣地區的自來水水源普遍受到污染，飲用水的水質問題日益嚴重。而水源污染問題，已逐漸無法由傳統之混凝、沉澱、過濾程序淨化，或是設置薄膜、離子交換樹脂等高級處理淨水場來解決，正本清源之道，應避免土壤中的腐質物、人們生活污水及農業用藥等過量的營養鹽被帶入水中使得水源水質優養化做起。優養化主因為大量的污染物質排入水中，並且在適當的水溫、酸鹼度、日照及水位等環境因素下，導致水體中藻類大量異常繁殖或死亡，進而消耗水中溶氧，使得水中產生優養化情形。多數水體水質劣化的原因可歸咎於優養化，是以對於水體優養化與過量營養鹽的控制，成為預防水質惡化的主要關鍵。

依據台灣地區水資源開發政策綱領計畫之精神，水資源開發以地面水為主，並且要提高既有地面水源之有效利用，尤其在目前環境對新水源開發不易之情形下，對受污染既有水源，仍

不能輕言放棄或擱置不用，必須克服困難予以解決且妥善充分利用，要有『水資源是全體國人最珍貴且無法取代的資產觀念』，舉凡此方面的改善投資計畫與穩定供水措施都必須用心來做。因此，本公司所屬鏡面水庫蓄水量雖不大、水質又不佳且調節功能漸失，然在水資源欠缺的南部地區，加上水庫興建不易的今日，實有必要讓鏡面水庫起死回生，維持原有供水效能。

貳、研究目的

現今國內水資源日益嚴重，加上水庫興建不易，是以水資源開發應以維持原有供水效能為首要。本研究目的期能改善鏡面水庫水源水質，將目前稍微優養化且介於乙類和丙類之水體，借由『水質淨化生態工法』之處理方式有效改善，使穩定為乙類水體，除水量可充分利用外，亦可節省淨水操作費用；則鏡面水庫就可與同屬台南自來水供水系統之南化水庫聯合運用，預期將填補南部地區枯早期不足之水量，並取代部份應由南化水庫南送之水量，減少長距離輸送水之動能損失和漏水量，可更有效率地運用既有水資源，減少移用農業用水，以節省自來水相關單位的原料成本。

參、研究方法與過程

3.1. 水質淨化生態工法研析

所謂水質淨化生態工法係以近自然植生處理、土地處理及接觸氧化等方式，乃在追求人類的活動能與自然環境相調和，俾能與萬物永續共享資源並享受充實而幸福生活的技術方法，換言之，人類因生活之需求而製造水質污染物，可借由自然或人造生態構造物予以攔阻懸浮物、營養鹽、殺蟲劑及其他污染物

進入溪流而予以改善水質。

水質淨化生態工法應該建構在水資源的永續發展上，以及河川、湖泊、水庫等環境生態保育之前瞻與長效基礎上，水質淨化的歷史也隨著生態工法的觀念而有所進化，最早期水資源管理目的僅在於防範洪災，後來隨著人口快速增加及經濟起飛工廠林立下，水質污染情形亦隨著民生和工業的用水量劇增而嚴重惡化，造就水資源的利用加入所謂的水質淨化生態工法。

近三十年來，學者們模擬自然環境並結合廢水工程知識，發展出水質淨化生態工法應用於水污染防治之基礎研究及技術建立，成功地處理來自家庭、工業、礦業、畜牧養殖業、農地等之廢排水及受污染水體，有效去除水中的固體物質、有機性物質、氮磷營養鹽、重金屬、病原菌等污染物，並證實水質淨化生態工法是一種省能源、低成本、容易操作維護之廢水處理技術。水質淨化生態工法是利用水生植物和微生物自然生態之淨化方式，在人為控制下強化其污染物去除能力，達到廢污水處理目標，屬於水污染防治科技上之生態工法^(10,11)。

水質淨化生態工法大致分為植生處理法、土地處理法及接觸氧化法等三大類工法⁽⁷⁾，如圖 3.1 所示。植生處理法包括濕地、草溝、草帶（或植物緩衝帶）、人工浮島等，土地處理法包含快滲法、慢滲法、地表慢流、地下滲濾法，接觸氧化包括礫間處理、填充濾材等。

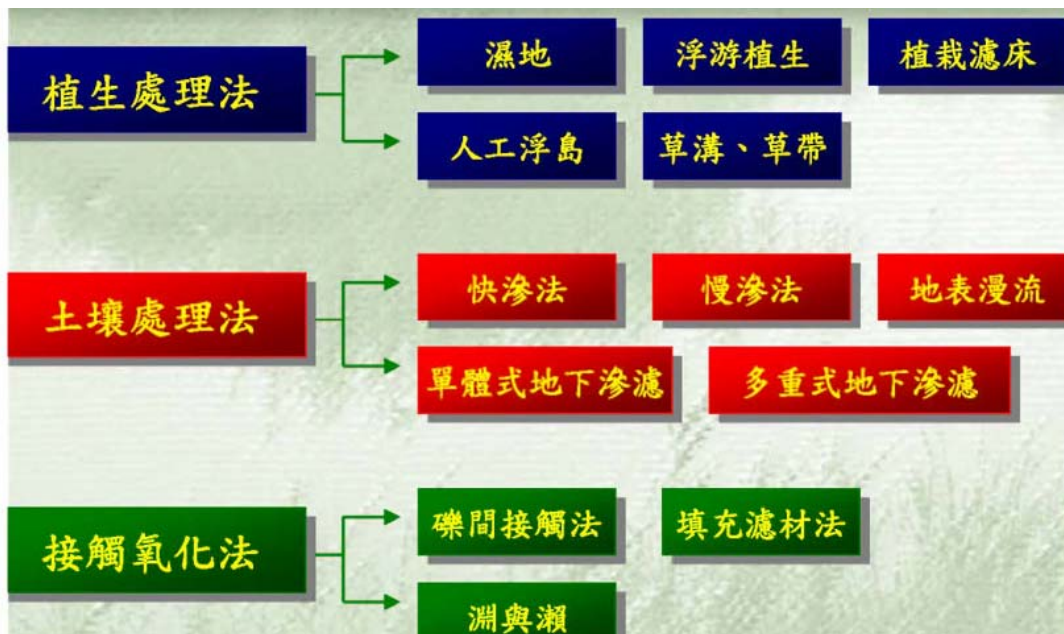


圖 3.1 水質淨化生態工法分類⁽⁷⁾

3.2. 各類工法評估

有關各類水質淨化生態工法前處理需求、處理效果、土地需求、水力負荷、衛生問題、機電設備、自然條件限制、國內是否已有案例、單位面積處理量、節能與否、景觀優美與否及經費需求之考量等因素，已有美國 EPA(1992)、Schueler(1987)、FHWA (2000) …等研究得到若干之結論，本文將之比較整理成表 3.1 之評估表，可用於評估各類工法之適用性，如圖 3.2 之生態工法實施策略流程①，②所示。

表 3.1 各類水質淨化生態工法適用性比較

工法種類		國內 案例	前端處 理	水力負 荷 m/yr	土地需求 m ² /CMD	處理效率 CMD/m ²	動 力 設 施	景 觀 評 估	衛 生 問 題	條件限制	經 費 評 估
植生 處理	表 面 流 式	有	氧化塘 沉砂池 之二級 處理	45- 60	20-60	0.02-0.05	無	優	有	地下水位低、 土壤透水性低	低
	植 栽 浸 潤	有	二級處 理	<80	-	0.02-0.05	無	優	有	地下水位低、 土壤透水性 低至中	低
土地 處理	快 濾 式	無	一級處 理	15	15-30	0.02-0.25	有	次 優	有	砂性土， 透水係數> 10 ⁻³ cm/sec	中
	慢 濾 式	無	一級處 理	2	200-450	0.001-0.02	有	次 優	有	沙土或黏土質 透水係數 10 ⁻⁵ ~10 ⁻³ cm/sec	中高
	地 表 漫 流	有	一級處 理	5	100-150	0.2- 0.4	有	次 優	有	黏土質、 透水係數< 10 ⁻³ cm/sec	中低
	入 滲 溝	有	攔污		-	0.15-0.24	無	次 優	有	-	中
	地 下 滲 濾	無	厭氧槽 可處理 原污水	40	40	0.025-0.1	無	優	無	高透水性土壤 透水係數> 10 ⁻³ cm/sec	高
接觸 氧化	礫 間 淨 化	有	二級處 理	-	-	25-50	無	優	無	原污水， BOD<30mg/L， DO>2 mg/L	高
	接 觸 曝 氣	有	一級處 理	-	-	4-6	有	不 佳	無	原污水， BOD<40mg/L， DO>2 mg/L	最高

表中各類工法，目前國內已有案例者為植生處理的表面流式（如草溝、草帶、植物緩衝帶等）、植栽浸潤（如濕地、生態景觀池）、土地處理的地表漫流、入滲溝及礫間淨化法、接觸曝氣法等方式；而土地處理的快、慢濾式目前尚無本土化實例，僅地下滲濾法有試驗中的模廠；而單位面積處理量以礫間淨化法可處理量最大，其次為接觸曝氣法，對於主要受限於土地太小因子者，可考慮該類生態工法。

各類工法於設計時必須考慮原處理水水質狀況，如地下滲濾可直接處理生活污水，惟需厭氧槽設計；而入滲溝須先攔污等保護措施，以免造成阻塞；其他如快濾、慢濾、地表漫流及接觸曝氣法可處理一級出流水；植生處理和礫間淨化法可處理二級出流水；在去污效果上，植生處理方式可利用植物的吸附機制處理總氮和總磷，地下滲濾因有厭氧槽，故處理氮、磷亦有效果。在動力設施的考量上除接觸氧化法需要電能曝氣外，一般可不需動力設施。對於景觀考量上當然植物處理方式會較佳，而地下滲濾法和礫間淨化法因設施置於地下，致地上部分可行美化綠化利用，其景觀上亦是理想方式。

若以相同處理量為基準，並考量操作及設置經費，當以植生處理方式為最低，其次為地表漫流（需整地但無槽體設施），快濾法（同處理量所需設施較小）及入滲溝再次之，而接觸曝氣因需動力設施，經費需求最高，地下滲濾法和礫間淨化法為地下處理設施，所需經費次高。

3.3. 鏡面水庫適用處理工法評析

由於鏡面水庫集水區內自政府實施離牧政策後，已無豬隻的存在，居民靠水果收成維生，亦不需牛隻耕作；主要之點源污染來自 273 公頃集水區內 89 戶居民，其因戶戶散居無法施設污

水匯流井及排水溝等設備，其生活污水採自然排放方式流入山坡地或果園，變成非點源污染的一部分。所以鏡面水庫非點源污染源較特殊除來自農藥及肥料外，亦有部份是生活污水乾涸在山坡地或果園的污染物。又因集水區內大部份山坡地均栽植果樹，表土覆蓋不良，土壤易流失造成水流混濁外，施用過多的肥料及噴灑農藥，其殘餘毒性亦將污染水庫水質。尤其久旱之後第一次暴雨或每次降雨前幾十分鐘所排的水，常含有可觀之污染物，這些污染物包括高濃度之 BOD、沈澱物、營養鹽、有毒物質、農藥、細菌及鹽類等等，匯流入水庫後，常使得藻類滋生，造成水質優氧化，增加淨水加藥量和飲用水風險；亦使懸浮固體沉積於庫底，因而縮短水庫壽命。所以鏡面水庫污染源主要來自初期雨水逕流中高濃度之污染物。若以節能考量、去除 TN 及 TP 營養鹽效果、國內本土化案例和經費等因子評估污染控制工法，則鏡面水庫以草溝、濕式滯留池等生態設施，配合現地之景觀、地形及用地限制予以設計，除可以處理鏡面溪主流流入水庫前之地表逕流，使雨水逕流污染削減外，並兼具晴天集水區居民 298 人生活廢污水處理淨化功能。

3.4. 處理系統規劃流程

如前 3.3 節之分析，本集水區於乾季時，因野溪呈乾涸狀態，故農業與生活廢水之污染物質均附著於山坡地、果園及溪床，而夏季雨量集中且降雨日數多，污染物質多被雨水沖入水庫中，故每年夏季果樹收成時水庫水質最差。因此本研究乃以現地最適工法考量，如圖 3.2 流程中③~⑤項之思維以多重處理系統草溝和濕式滯留池為主軸；即考慮以戶戶設置草溝 30 公尺以收集家庭生活污水之方式施作，如此當暴雨降下產生逕流後，部分進入草溝宣洩及分擔暴雨逕流，除可防止暴雨逕流沖刷土

壤直接進入濕式滯留池中，亦可使水流均勻流過草溝（顆粒性污染物阻留性較佳）除去部份沉渣及懸浮固體並吸附於水中之營養鹽，以適度保護濕式滯留池的壽命；當晴天時則集水區居民 298 人生活廢污水可直接排入草溝，經草溝內草皮之過濾、吸附、離子交換、化學沈澱沈積、微生物礦化作用及轉化作用（氨化、硝化及脫硝）、同化及攝取作用降低污染物質，以作為第一道的淨化處理。因居民散居集水區各地，生活廢水量少不集中而可能乾涸草溝內，無直接流入濕式滯留池中，故水力停留時間（HRT）夠長，已大大發揮草溝阻留淨化作用並削減大部份污染物質，即便暴雨逕流沖刷草溝釋出部份營養鹽及污染物，但已減輕濕式滯留池的負擔。最後由濕式滯留池發揮如同草溝處理機制再加上沉降、太陽輻射線及生物掠食等作用作為第二道的污水淨化處理，以削減大部份污染物再排入鏡面水庫，則其水體水質必可改善為乙類以上。

本研究是針對蓄水容量僅約 100 萬噸之鏡面水庫，為減少其污染物，改善及提升水庫中之水質為目標而設計。本研究設計最具特色的是在每戶的污水排放口連結一條帶狀草溝，並在草溝的最低點設置的小型阻流堤(check dams)，形成暫時性的置流池(retention basin)，將生活污水中的污染物暫至於草溝內，延長滯留時間，使污水有足夠的時間滲入土壤及淨化。草溝中種植的濕地植物：百喜草 A33（小葉品系，Bahia grass *Paspalum notatum*，適合於草溝用途。）更加速分解了水中的污染質，而那些未被分解的則吸附於土壤，再度受到土壤中的微生物的分解。經由這些過濾的程序，再次的暴雨水才將匯集於草溝內並經已淨化過的污水排至濕式滯留池。

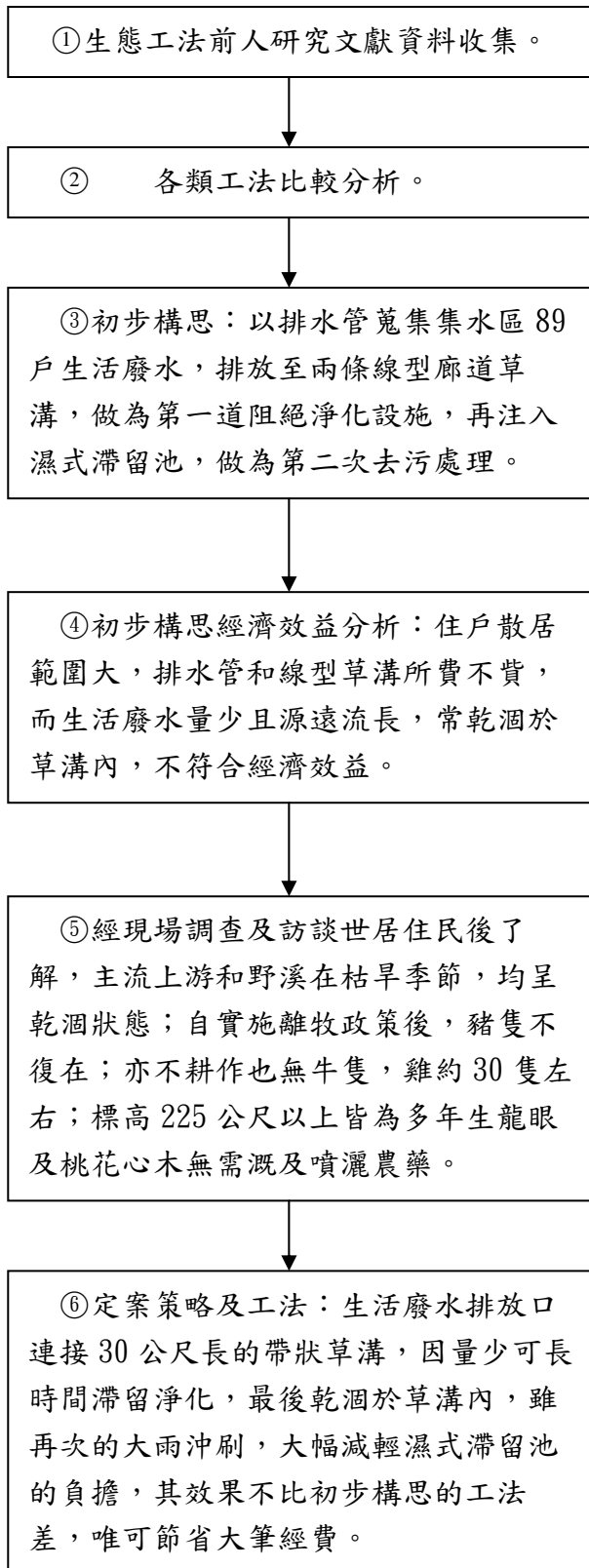


圖 3.2 生態工法實施策略流程

3.5. 處理系統初步設計

本研究建議將集水區內散居之各戶（點源污染），以條帶狀草溝為處理系統，再於入流水庫前設置濕式滯留池以處理非點源污染，各系統所需尺度於本節中計算設計。

3.5.1. 鏡面聚落及興化寮聚落生活污水點源污染控制規劃

將生活廢水引入戶屋後設置的草溝，利用其沉降、過濾、吸附、沉澱及植物攝取等去污原理淨化後，已削減大部分污染物，即便暴雨逕流沖刷草溝殘餘營養鹽及污染物再流入水庫，已大大減輕對水體水質的影響。因此設計戶戶排水口連接一長 30 公尺的草溝。相關數據如下：

- (1) 設草溝寬度 $=2.0\text{m}$
- (2) 設草溝深度 $=0.3\text{m}$
- (3) 草溝斷面積 $=0.4\text{m}^2$
- (4) 設草溝坡度 $=1.0\%$
- (5) 草溝容納量 $=0.4\text{m}^2 \times 30\text{m} = 12\text{m}^3 > 5$ 口人家 10 天污水量
($0.237\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{人} \times 0.8 \times 5 \text{人} \times 10 \text{日} = 9.48\text{m}^3$)
- (6) 工程費估算(草溝設計坡度 45° ，出水高 10cm，則每戶 30m 條帶狀草溝挖土方約為 18m^3 ，植草面積約為 70m^2)

$$\text{挖土方} = 300 \times 18 = 5,400(\text{元})$$

$$\text{植草皮} = 60 \times 70 = 4,200(\text{元})$$

其他費用(含利潤、工安環保費、營業稅等以 15% 計算)

$$\text{合計} = (5,400 + 4,200) \times 1.15 = 11,040 \div 1.1(\text{萬元})$$

3.5.2. 鏡面溪流入水庫前非點源污染控制規劃

滯留池體積計算係以每次降雨初期沖刷 (First Flush) 流出必須處理之雨水逕流量，亦稱為水質體積 (Water Quality Volume, WQV)，經參考國內外相關文獻^(37,38)及規定水質體積以收集處理暴雨初期 10-15mm 逕流為目標，本研究以 13mm 設計。因為要有效收集上游水流並讓大部分固體沉降，滯留池進流端需設置表面積較大之池體，及於池中堆置礫石消能，防止先期沉積物受擾動而再度懸浮。因此設計滯留池為一長方型，長寬比約為 3:1。相關數據如下：

- (1) 集水面積 = 2,730,000m²
- (2) 雨水收集逕流量 = 13mm = 0.013m
- (3) 水質體積 (WQA) = 0.013 × 2,730,000 = 35,490m³ → use 35,500m³
- (4) 滯留池寬度 = 100m
- (5) 滯留池長度 = 300m
- (6) 滯留池平均投影面積 = 29,600m²
- (7) 滯留池滯留時間 = 24hr
- (8) 滯留池深度需求 = 1.2m
- (9) 工程費計算 (池底挖除 30cm 整地鋪設不織布及卵石，出水高 10cm，邊坡 30°，則挖土方約為 47,360 m³，整地約為 8,880m³，邊坡植被約為 1,120 m²)
挖土方 = 300 × 47,360 = 14,208,000 (元)
整地 = 800 × 8,880 = 7,104,000 (元)
邊坡植被 = 60 × 1120 = 67,200 (元)
其他費用 (含利潤、工安環保費、營業稅等以 15% 計算)
合計 = (14,208,000 + 7,104,000 + 67,200) × 1.15
= 24,586,000 = 2,458.6 (萬元)

3.5.3. 系統位置及流程設計

綜合上述非點源、點源污染控制規劃及生態工法策略及方

法，設計滯留池位置圖如圖 3.3；系統處理流程以圖 3.4 表示；而水質改善設置地點及預估費用如表 3.2 所示，全系統設置所需費用約新台幣 2,556.5 萬元。



圖 3.3 滯留池位置圖

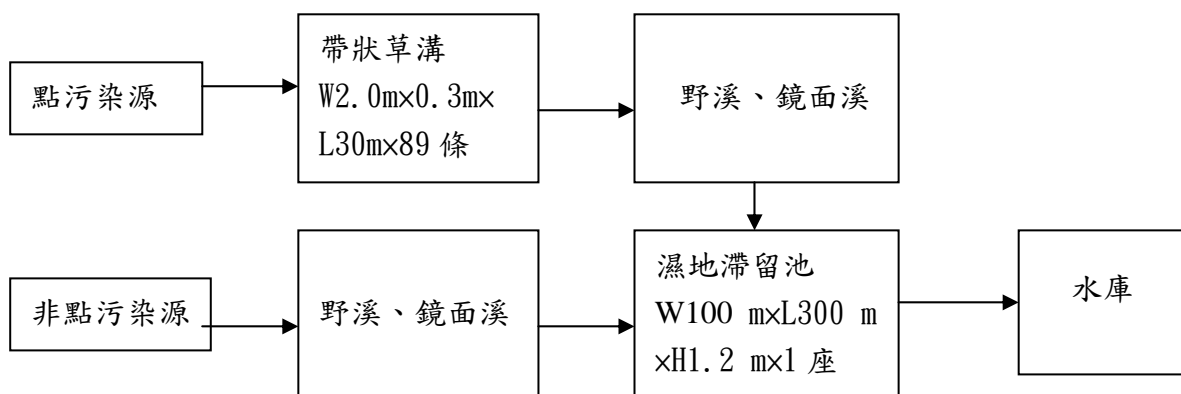


圖 3.4 系統處理流程

表 3.2 水質改善地點及費用

治理類別	坐標		位置	治理工程項目	工程內容概述	計畫經費 (仟元)
	N	E				
非點源污染改善	2550896	198300	鏡面二號橋附近	濕式滯留池	濕式滯留池 W100m×L300m×H1.2m×1 座	24,586
小計 1						24,586
點源污染改善	2550860	198739	鏡面聚落	草溝	草溝 W2.0m×H0.3m×L30m×29 條 (設阻流壩)	319
點源污染改善	2549962	198921	興化寮聚落	草溝	草溝 W2.0m×H0.3m×L30m×60 條 (設阻流壩)	660
小計 2						979
合計 1+2						25,565

3.6. 效益評估

3.6.1. 系統之水體污染祛除效益估算

前節所擬定水質改善及提升之草溝、濕式滯留池系統，於此章利用 Vollenweider 模式評估其處理效能，首先估計點源及非點源污染量及濃度來設定系統平均祛除效率，再代入公式計算處理效能。茲整理文獻資料，將草溝、濕式滯留池去除污染效果彙整於表 3.3 中。因去除污染效益高低值差異極大，茲將本研究草溝採中間偏高值及濕式滯留池採中間值分析如下：

▲草溝坡度較和緩者去污效益較佳；本研究計畫以 1% 設置遠小於容許 30%。

▲草溝水流連續不斷或流速超過 1.5m/sec 者，去污效益不佳；本研究的生活污水排放不連續及無流速幾近滯留狀態，能充分發揮其固結作用、沉澱、吸附作用、滯留作用以減少土壤沖蝕並去除污染物。

▲草溝長度超過 30 公尺將造成溝面過度負荷，其去污效益不佳；本研究草溝長不超過 30 公尺。

▲草溝位處日照不足無法供植物正常生長者去污效益不佳；本

研究計畫皆位處空曠地並無此現象。

▲濕式滯留池體積應能足夠滯留集水區 10mm 以上逕流，才可收集初期雨水逕流中高濃度污染物；本研究設計足夠滯留集水區 13mm 之逕流量。

▲濕式滯留池池體長寬比控制在 3:1 以上，能避免短流，提高水質淨化效果。

▲濕式滯留池池底坡度在 1% 以上，可防積水避免污染物淤積。

▲濕式滯留池滯留為 24 小時，已能有效處理高濃度污染物。

▲濕式滯留池採大面積小水深設計，去污效率較高。

▲濕式滯留池邊坡與池底有植生設計可提高去污效率。

▲濕式滯留池入口設有消能設施，可防止沉積污染物受擾動而再度懸浮。

表 3.3 草溝、濕式滯留池污染去除效益

(單位：%)

項目	氨氮 mg/L	濁度 NTU	SS mg/L	TN mg/L	TP mg/L	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	大腸桿菌 CFU/100mL
草溝	56	—	40~85	10~90	20~95	53~98	49~98	20
採用	56		65	55	65	75	75	20
濕式滯留池	30~85	78	48~83	35~80	35~80	40~69.5	78~85.4	87~100
採用	60	60	65	60	60	55	80	90

3.7. 點源及非點源污染量估算

3.7.1. 點源污染量推估計算

點源污染量計算係針對水庫集水區內的生活污水、畜牧廢水、事業廢水及遊憩廢水等進行污染量的計算，茲分述如下：

▲生活污水量及污染量計算

家庭污水量及污染量計算方式是以每人每日產生單位污水量及污染量乘上人口數而得；每人每日產生的污水量與用水量幾乎成正比的關係，根據文獻資料^(5,20)如表 3.4，用水量及污染量之

比值範圍在 0.7—0.9 之間，採其平均值 0.8 為計算基準。而每人每日用水量依本公司資料為平均 237 公升；根據文獻資料^(29, 30, 31)，每人每日污染量總磷各為 1.8g 與 2.2g，總氮各為 12g 與 13g，本研究取平均值，總磷採用 2g，總氮為 12.5g；再以總氮來估計氨氮，生活廢水氨氮的轉化約為總氮的 60%，故氨氮採用值為 7.5g；另每人每日 BOD 污染量為 40g。而人口數依據南化鄉公所統計資料如表 3.5，生活污染量計算如表 3.6。

表 3.4 台灣各地區污水量與用水量比值表

地區	比值	參考文獻
基隆河流域	0.8	基隆河流域性污染整治規劃報告
淡水河流域	0.8	淡水河流域污染整治規劃
大台北區	0.8	台北市污水下水道系統計畫
台北市部分	0.9	雙溪 C2 主幹管工程規劃報告
大台北區	0.9	台北市區衛生下水道規劃綱要計畫
民生東路	0.7	都市污水處理後再利用可行性研究(II)
桃園縣	0.8	新街溪、老街溪、南崁溪、社子溪等污染整治規劃
豐原鎮	0.8	豐原鎮雨水污水下水道系統規劃報告
台灣地區	0.7-0.8	工業廢水處理之研究(IV)
台中港	0.8	台中港特定區雨水污水規劃報告
中興新村中正路	0.72	都市污水處理後再利用可行性研究(II)
中興新村內轆	0.8	內轆污水處理廠擴建工程設計報告
台南市	0.8	台南市污水下水道系統規劃報告
台南市	0.68	台南市污水下水道系統規劃報告(66 年實施)
高雄市	0.8	高雄區污水下水道系統初步規劃報告
高雄縣	0.8	阿公店河流域污染整治規劃報告
馬公鎮	0.8	馬公鎮雨水及污水下水道系統規劃報告

表 3.5 鏡面水庫集水區人口統計資料

項目	戶數	人口數
小崙村 8 鄰	17	53
小崙村 9 鄰	22	82
小崙村 10 鄰	17	50
小崙村 11 鄰	4	13
小崙村 12 鄰	29	100
合計	89 戶	298 人

▲畜牧廢水量及污染量計算

因鏡面水庫集水區內自從政府實施離牧政策後，養豬情形已不復在；又因居民靠水果收成為生，不種田耕作，所以也無牛隻的存在；經現場調查，僅有零星兩戶養有大約 20—30 雞隻，故不考慮畜牧廢水污染量。

▲事業廢水量及污染量計算

因鏡面水庫集水區內並無工業區或工廠，故不考慮事業廢水污染量。

▲遊憩廢水量及污染量計算

因鏡面水庫集水區內並供遊客遊憩的地點，故不考慮遊憩廢水污染量。

表 3.6 鏡面水庫集水區點源污染量推估

項目	生活污染量(每年)	畜牧污染量	事業污染量	遊憩污染量	合計
總磷	$2 \times 298 \times 365 \times 0.001 = 218$	—	—	—	218kg
總氮	$12.5 \times 298 \times 365 \times 0.001 = 1,360$	—	—	—	1,360kg
BOD	$40 \times 298 \times 365 \times 0.001 = 4,351$	—	—	—	4,351kg
氨氮	$7.5 \times 298 \times 365 \times 0.001 = 816$	—	—	—	816kg

3.7.2. 非點源污染量推估計算

德基水庫將集水區土地利用分為農地、旱地、林地、果園、建地、遊憩等不同型態，依據文獻資料⁽²⁴⁾如表 3.7 各類型土地產生BOD、TN、TP、NH₃-N、SS等污染物之單位面積輸出量為目前非點源污染負荷量計算標竿，經查有許多研究規劃案據以引用；因鏡面水庫集水區土地利用以農地和果園為大宗，與德基水庫類似，差別僅在於鏡面水庫非觀光地區而無遊憩人口污染物，引用其資料稍微高估，但影響甚微。經統計鏡面水庫各類土地利用面積，計算獲得非點源污染量，如表 3.8 所示。

表 3.7 各類土地利用污染物單位面積輸出量⁽²⁴⁾

集水區土地使用	面積 (ha)	污染輸出量 (公斤/年)				
		BOD	TN	TP	NH ₃ -N	SS
農地及果園	193.91	3,490	5,042	776	2,521	25,092
林地	66.01	330	198	13	99	5,610
道路及建地	13.08	654	111	65	56	6,017
小計	273.00	4,474	5,351	854	2,676	36,719

表 3.8 鏡面水庫集水區非點源污染量推估

項目	農地	旱地	林地	果園	建地	遊憩
BOD	18	5.5	5	18	50	4.18
TN	26	26	3	26	8.5	5.08
TP	4	4	0.2	4	5	1.03
NH ₃ -N	13	13	1.5	13	4.25	2.54

3.7.3. 以 Vollenweider 數學模式模擬水庫水質污染物濃度

為瞭解水質淨化生態工法設置後對水庫水體水質之改善程度，茲應用水質模式進行模擬。目前已發展應用於水庫水質模擬數學模式相當多，然每一種模式之使用皆有其限制條件。經考量鏡面水庫水質採樣資料與 Vollenweider 數學模式限制條件吻合，因而引用之。惟受限於水質歷史資料為每季一次，故無法計算模擬短期間在暴風雨不穩定狀態下的水質情況。

1. Vollenweider 數學模式應用

Vollenweider's Formula可簡化為零維總磷質量平衡模式，此模式通常以模擬總磷為主，假設：(a)湖泊、水庫為完全混合水體，(b)穩定狀態(steady state condition)，代表年或季節平均情況，(c)水體之限制營養源為總磷，並以總磷來判定水體之優養等級。

在台灣地區由於雨量不均勻，因此湖泊、水庫入流量及體積等隨時間而變化顯著，因此將(1)式可寫成體積時變性零維總磷質量平衡模式(2)。

$$\text{質量平衡方程式：} VdC_p/dt = W - K_s C_p V - C_p Q \dots\dots\dots (1)$$

其中 $K_s = \alpha v_s / H$

在穩定狀態下， $dC_p/dt = 0$ ，(1)可化簡為

$$W = C_p(Q + K_s V) \dots\dots\dots (2)$$

上式中， V = 固定之水體體積 [m^3]， C_p = 總磷濃度 [mg/m^3]， t = 時間 [yr]， W = 總磷負荷 [g/yr]， v_s = 總磷沉降率 [m/yr]， Q = 出流量 [m^3/yr]， α = 顆粒狀磷與總磷之比值， H = 水深 [m]， K_s = 磷沉降係數 [$1/yr$]。

Vollenweider 針對總磷的模擬主要考慮流入、流出及沉降三項的共同影響。如果應用此模式於總氮及生化需氧量模擬的話，總氮同樣必須考慮這三項的影響。而生化需氧量必須考慮有機物在水中被生物分解的效應，計算公式如表 3.9 所示。

2. 水庫水質污染濃度計算

本項水質模擬係利用鏡面水庫 84~92 年水質監測數據，以

Vollenweider 模式進行校驗證後，再應用於水庫水質預估。水質模擬項目以水庫指標污染物：總磷、總氮及生化需氧量為主。而表 3.10、表 3.11 為鏡面水庫 84 年至 92 年之平均水位、供水量及水庫容量統計表，表 3.6、表 3.8 為鏡面水庫集水區非點源及點源污染量推估，圖 3.5 為鏡面水庫水位水面面積及水庫容量曲線圖，以該表、圖數據帶入 Vollenweider 模式，則可顯示水庫水質污染濃度，如表 3.12。

3. 以水質淨化生態工法（草溝、濕式滯流池）削減污染量後之水質模擬

本研究先導引點源污染進入草溝削減部分污染物後，再匯流非點源污染進入濕式滯流池，俾減輕濕式滯流池的負擔。改善後鏡面水庫水質經數學 Vollenweider 模式模擬評估值如表 3.13 所示，而改善前後水質污染濃度比較表如表 3.14。

表 3.9 Vollenweider 模式應用於水庫水質之模擬^(18, 20)

負荷量 (公斤/年)	總磷	總氮	生化需氧量
①公式	$W=C_p(Q+K_sV)$	$W=C_{TN}(Q+K_sV)$	$W=C_{BOD}(Q+K_rV)$
②參數	W: 負荷量 (Kg/yr) C _p : 總磷濃度 (Kg/m ³) Q: 水庫年供水量 (m ³ /yr) K _s : 沉降係數 (1/yr) H: 年平均水位 (m) V: 水庫年平均有效體積 (m ³)	W: 負荷量 (Kg/yr) C _{TN} : 總氮濃度 (Kg/m ³) Q: 水庫年供水量 (m ³ /yr) K _s : 沉降係數 (1/yr) V: 水庫年平均有效體積 (m ³)	W: 負荷量 (Kg/yr) C _{BOD} : 生化需氧量濃度 (Kg/m ³) Q: 水庫年供水量 (m ³ /yr) K _r : 分解係數 (1/yr) V: 水庫年平均有效體積 (m ³)
③ 係數 ^(34, 35, 39)	K _s =0.2m/day÷H× 365day/yr=73m/yr÷H	顆粒狀有機氮 (PON) 之 沉降速率V _s =0.1day ⁻¹ ， OrgN之K _s =0.1day ⁻¹ × 0.5，所以TN之K _s =0.1day ⁻¹ × 0.5×0.1×365day/yr= 1.825/yr	K _r =0.02day ⁻¹ × 365day/yr=7.3/yr

表 3.10 鏡面水庫水位與水庫容量關係表

水位(m)	水庫容量(噸)	水位(m)	水庫容量(噸)	水位(m)	水庫容量(噸)
144	1,295,980	138	641,550	132	246,290
143	1,150,000	137	563,758	131	204,560
142	1,042,742	136	486,267	130	106,282
141	934,560	135	420,000	128	99,310
140	826,378	134	353,757	126	49,506
139	733,814	133	300,000	124	18,091

表 3.11 鏡面水庫歷年平均水位、供水量及水庫容量統計表

年度	年平均水深 H (m)	年供水量 Q (m ³)	水庫年平均容量 V (m ³)
84	16.59	1,095,213	890,205
85	16.46	1,200,708	876,141
86	17.29	807,514	858,832
87	16.30	829,024	965,932
88	14.35	972,595	673,842
89	18.73	1,147,184	1,121,040
90	18.10	707,125	1,053,467
91	15.46	1,009,820	826,378
92	14.64	952,690	700,598
年平均	16.40	969,097	885,159

表 3.12 鏡面水庫改善前水質污染濃度之模擬

負荷量	總磷	總氮	生化需氧量
公式	$W=C_p (Q+K_sV)$	$W=C_{TN} (Q+K_sV)$	$W=C_{BOD} (Q+K_rV)$
參數由表 4.4、4.6、4.8 及 4.9 得知，流達率採用 70%。	$W:(854+218)0.7$ $= 750 \text{ (Kg/yr)}$ $Q:969,097 \text{ (m}^3\text{/yr)}$ $K_s:4.45 \text{ (m/yr)}$ $H:16.4 \text{ (m)}$ $V:885,159 \text{ (m}^3\text{)}$	$W:(1,360+5,351)0.7$ $=4,698 \text{ (Kg/yr)}$ $Q: 969,097 \text{ (m}^3\text{/yr)}$ $K_s:1.825 \text{ (1/yr)}$ $V: 885,159 \text{ (m}^3\text{)}$	$W:(4,351+4,474)0.7$ $= 6,178 \text{ (Kg/yr)}$ $Q: 969,097 \text{ (m}^3\text{/yr)}$ $K_r: 7.3 \text{ (1/yr)}$ $V: 885,159 \text{ (m}^3\text{)}$
水質污染濃度計算值	$C_p = 0.00015\text{Kg/m}^3 = 0.15\text{ppm} > \text{乙類水體標準 } 0.05\text{ppm}$	$C_{TN} = 0.00181\text{kg/m}^3 = 1.81\text{ppm} > \text{水體優養化普養標準 } 1\text{ppm}$	$C_{BOD} = 0.00832\text{g/m}^3 = 0.832\text{ppm} < \text{乙類水體標準 } 2.0\text{ppm}$

表 3.13 鏡面水庫改善後水質污染濃度之模擬

負荷量	總磷	總氮	生化需氧量
公式	$W=C_{TP} (Q+K_sV/H)$	$W=C_{TN} (Q+K_sV)$	$W=C_{BOD} (Q+K_rV)$
參數由表 4.4、4.6、4.8 及 4.9 得知，流達率採用 70%。	$W:(854+218 \times 0.35) 0.7 \times 0.4$ $=260 \text{ (Kg/yr)}$ $Q:969,097 \text{ (m}^3\text{/yr)}$ $K_s:4.45 \text{ (m/yr)}$ $H:16.4 \text{ (m)}$ $V:885,159 \text{ (m}^3\text{)}$	$W:(1,360 \times 0.45 + 5,351) \times 0.7 \times 0.4$ $=1,670 \text{ (Kg/yr)}$ $Q: 969,097 \text{ (m}^3\text{/yr)}$ $K_s:1.825 \text{ (1/yr)}$ $V: 885,159 \text{ (m}^3\text{)}$	$W:(4,351 \times 0.25 + 4,474) \times 0.7 \times 0.45$ $=1,752 \text{ (Kg/yr)}$ $Q: 969,097 \text{ (m}^3\text{/yr)}$ $K_r: 7.3 \text{ (1/yr)}$ $V: 885,159 \text{ (m}^3\text{)}$
水質污染濃度計算值	$C_{TP} = 0.000052\text{Kg/m}^3 = 0.052\text{ppm} \div \text{乙類水體標準 } 0.05\text{ppm}$	$C_{TN} = 0.00065\text{kg/m}^3 = 0.65\text{ppm} < \text{水體優養化普養標準 } 1\text{ppm}$	$C_{BOD} = 0.00024\text{g/m}^3 = 0.24\text{ppm} < \text{乙類水體標準 } 2.0\text{ppm}$

3.14 以 Vollenweider 模式模擬鏡面水庫水質污染前後比較表

改善前後鏡面水庫污染負荷 (公斤/年)						改善前後鏡面水庫水質污染濃度評估 (ppm)					
BOD		TN		TP		BOD		TN		TP	
前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
6,178	1,752	4,698	1,670	750	260	0.832	0.24	1.81	0.65	0.15	0.05

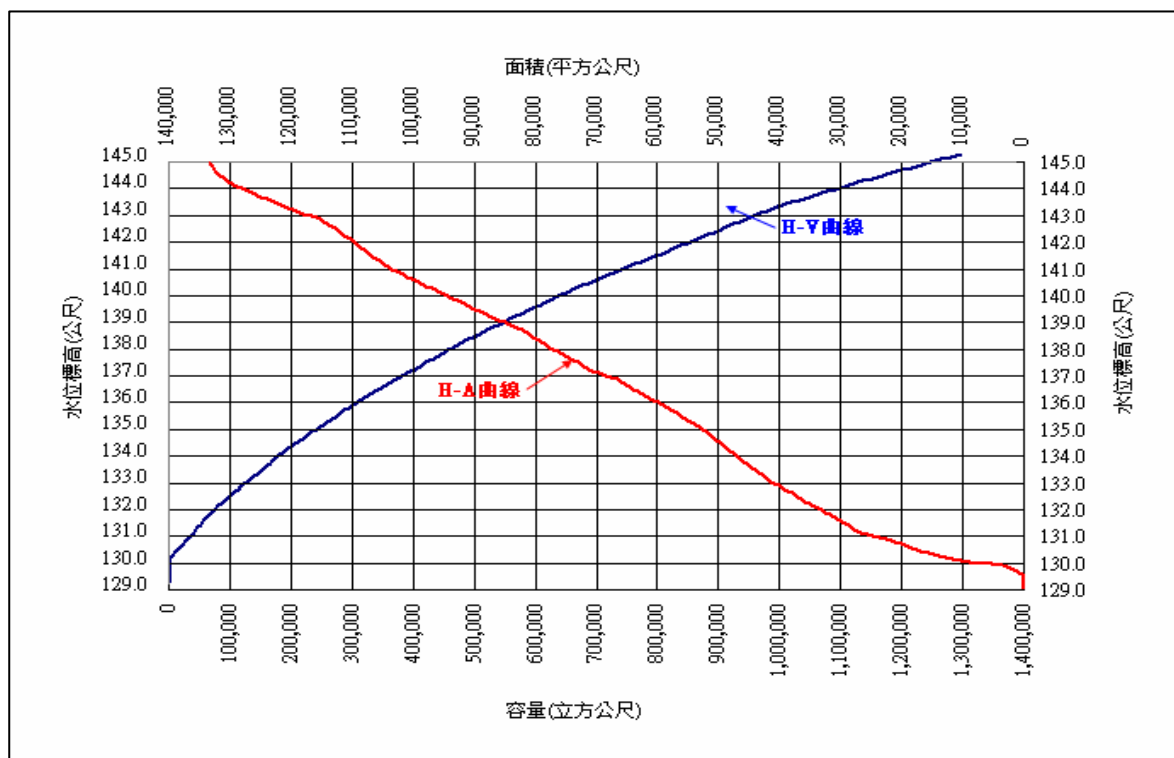


圖 3.5 鏡面水庫容量曲線圖

3.8. 改善後水質效益評估

3.8.1. 以數學模擬值評估

上述水質模擬係利用人口數、畜牧量、土地利用型態及面積計算集水區內所有點源和非點源之污染產生量，藉由數學模式 (Vollenweider) 進行預估水體每年實際污染流達量，再應用於污染削減後之水質改善模擬。水質模擬項目以水庫指標污染

物：BOD、TN 和 TP 為主。經模擬演算後，改善前模擬值僅 BOD 符合乙類水體或普養水質，而 TN 和 TP 不符合，與本公司 910304—930105 之實際檢測值非常雷同如表 3.15，在九筆檢測資料中，BOD 僅有一筆不合格；而 TN 雖有四筆不合格，但趨近於標準值 1.0，平均值 0.91 亦合格；TP 也有四筆不合格，但遠大於標準值 0.05，平均值 0.092 不合格。改善後模擬值 BOD(0.11ppm) 及 TN(0.65ppm) 均在乙類水體或普養水質標準內，TP(0.05ppm) 污染值亦可大幅降低至合格邊緣；顯然以水質淨化生態工法改善後，水庫水質皆可穩定在乙類水體或普養水質標準內，僅在颱風暴雨日所造成高濃度逕流才會使 TP 值不合格。

表 3.15 水庫水體實際檢測值

(單位：ppm)

日期	910304	910506	910902	911202	920210	920505	920805	921103	930105	平均
BOD	0.9	0.2	0.8	1.2	0.8	1.5	3.1	0.7	0.8	1.11
TN	0.61	0.35	1.30	0.50	0.83	0.47	1.80	1.26	1.08	0.91
TP	0.033	0.208	0.235	0.029	0.051	0.026	0.115	0.038	—	0.092

3.8.2 以水庫原水檢測值評估

目前水庫原水依陸域地面水體分類介於乙、丙類之間，經由生態工法減少營養鹽流入庫區之淨化治理後原水可穩定於乙類階段。如圖 3.6 至圖 3.9 所示，水質以生態工法淨化後氨氮濃度介於 0.012~0.051PPM 之間，生化需氧量濃度介於 0.022~0.341PPM 之間，皆在乙類水體標準內，而懸浮固體濃度和總磷濃度亦大多維持在乙類水體標準 25PPM 及 50PPb 內，僅偶而一至二次的強烈暴風雨才會超出。

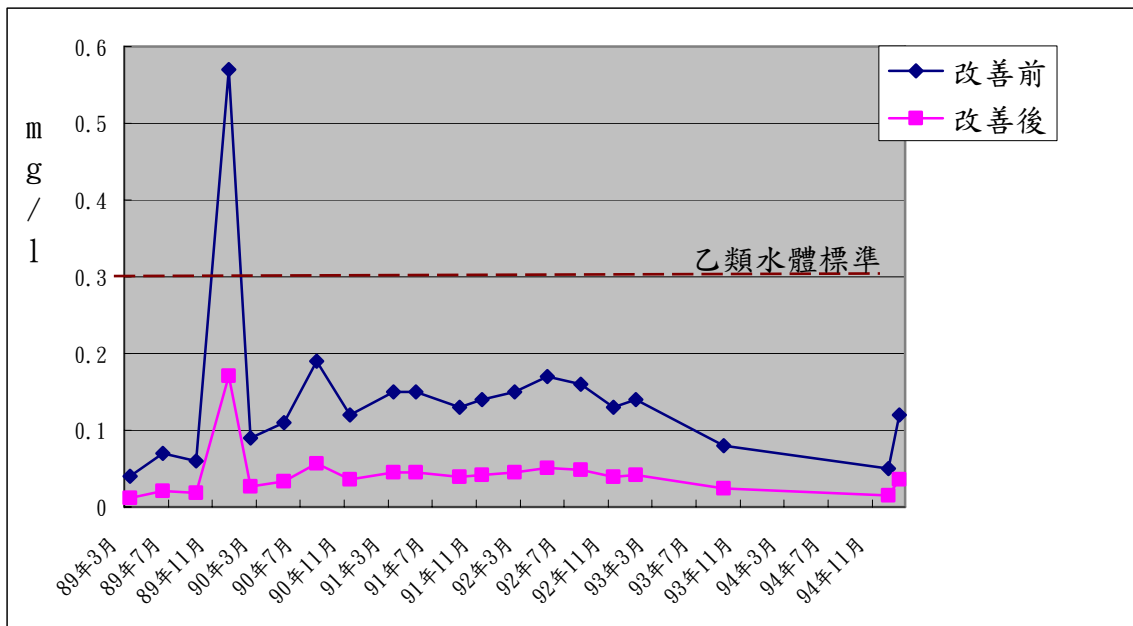


圖 3.6 水質淨化後氨氮濃度曲線圖

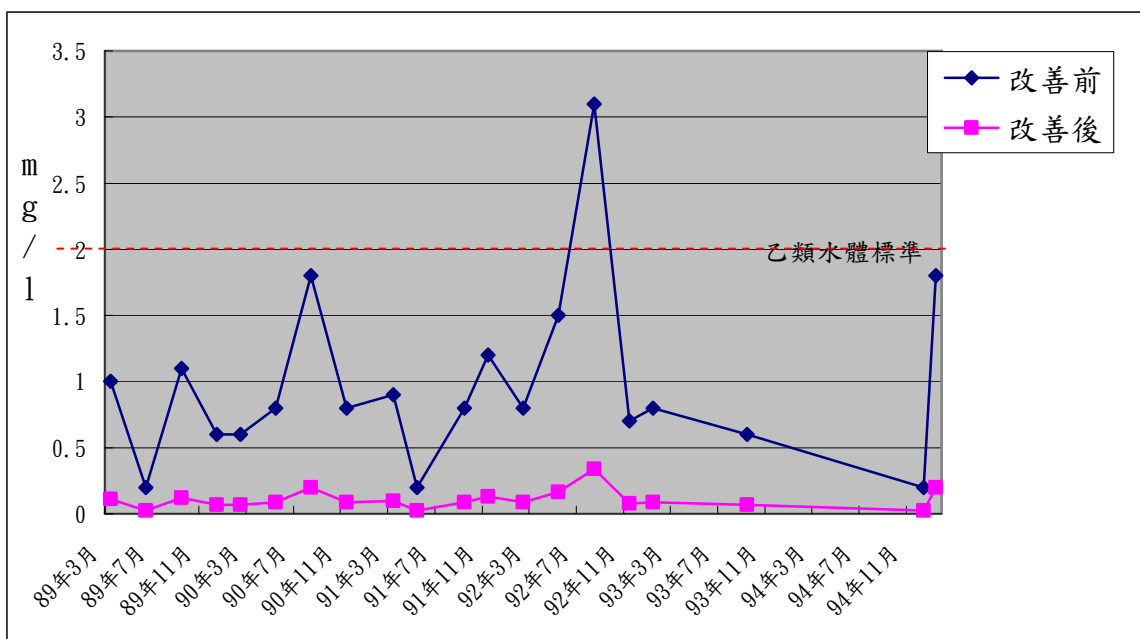


圖 3.7 水質淨化後生化需氧量濃度曲線圖

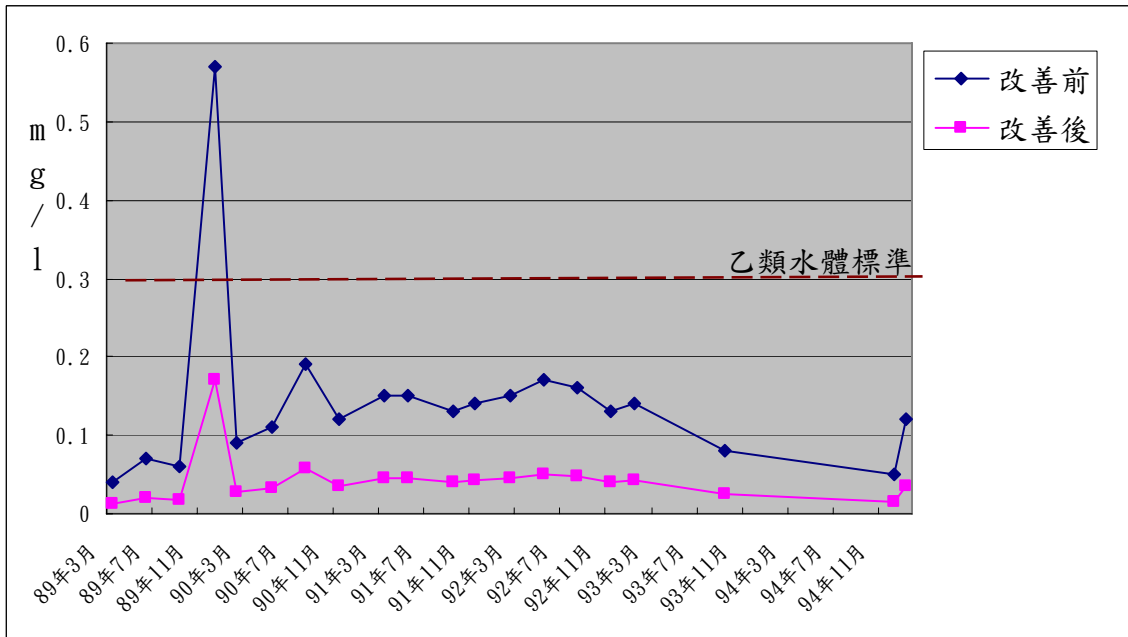


圖 3.8 水質淨化後懸浮固體濃度曲線圖

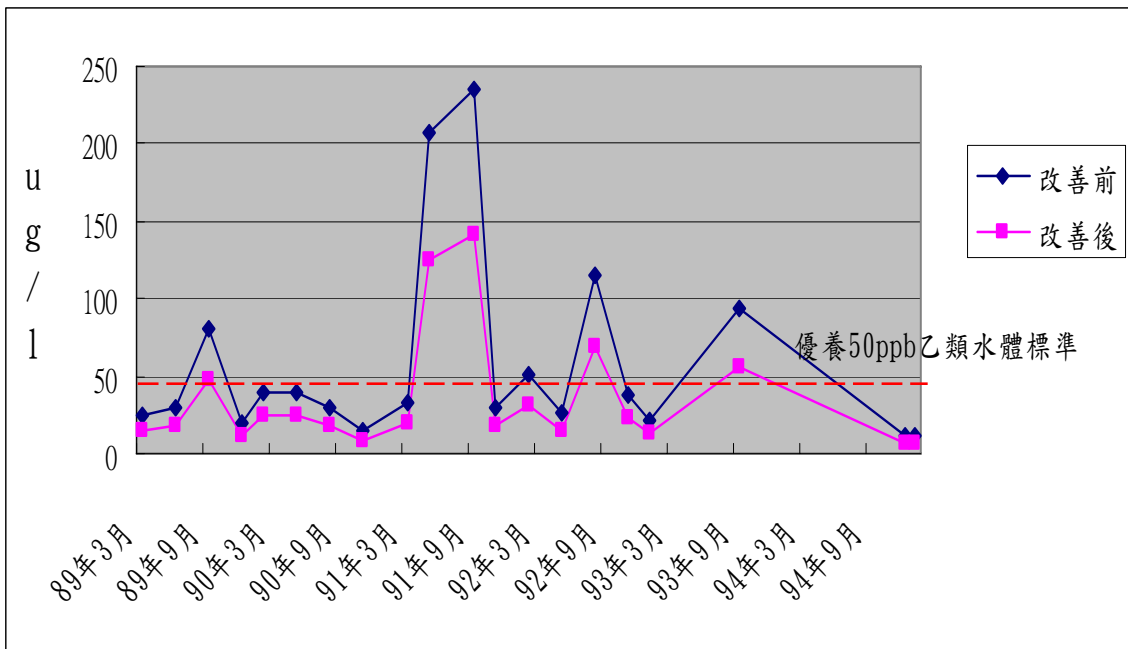


圖 3.9 水質淨化後總磷濃度曲線圖

3.9. 經濟效益評估

效益評估將依照生態工法淨化水質總成果進行評估，主要可分為可量化效益及不可量化效益；而可量化效益包括計畫區水庫水質之改善、庫容之增加、有效攔阻砂石及延長水庫壽命等；不可量化效益則涵蓋保障民眾財產、保育自然生態、增加地下水補助、維護土地生產力、居民生活品質之提升、農村經濟之繁榮及改善河川溪流環境等。其中水庫泥沙淤積量及水質改善程度可量化為指標來加以衡量。

3.9.1. 可量化效益評估

一、有效攔阻砂石進入水庫，降低原水懸浮固體量和濁度，增加庫容量並延長水庫壽命等之年直接效益計算。每年可攔阻泥砂量為 $5,840\text{m}^3$ ，其計算公式^(4,21)如下：

$$W_{sd} = V_w \times (T_n + 2 \times C_r + 0.234 \times R_c) \times 0.001$$

上式中

$$W_{sd} = \text{乾污泥固體量 (公斤/日)}$$

$$V_w = \text{水量 (CMD)} = 2,655 \text{ CMD (以表 3.11 之年供水量換算)}$$

$$T_n = \text{濁度 (NTU)} = 47 \text{ NTU (以表 3.16 濁度平均值及表 3.3 濁度去除率 60\% 計算)}$$

$$C_r = \text{色度 (鉑鈷單位)} = 5 \text{ (色度去除率無文獻資料可查，故採保守估計，與關聯性的「有機物」和「重金屬」去除率 40\% 計算，則表 3.16 平均數為 13 時，其去除色度約為 5。)}$$

$$R_c = \text{加藥率 (ppm)} = 14 \text{ ppm (加藥率由自來水公司實際操作量如表 3.17 採中限值得濁度為 79NTU，加藥率約為 54ppm；當濁度}$$

減少 47 NTU 而為 32NTU 時，其加藥率約為 40ppm；因此可減少加藥率為 $54 - 40 = 14\text{ppm}$ 。）

由上述數據計算出 $W_{sf} = 160\text{kg/d}$ 【 $2,655 \times (47 + 2 \times 5 + 0.234 \times 14) \times 0.001 = 160$ 】

每年減少乾污泥固體量為 58,400kg ($160 \times 365 = 58,400$)

依文獻資料^(4,21)濕污泥濃度為 10kg/m^3 ，則每年減少乾污泥固體量換算濕污泥體積為 $5,840\text{m}^3$ 。

依據各水庫歷年水域清淤單價計算約為 800元/m^3 ，而滯留池沉積物利用枯旱季移除，屬陸域機械挖方單價約為 300元/m^3 ，兩者差價 500元/m^3 。則直接年效益為 $500 \times 5,840 = 2,920,000\text{元}$ 。

表 3.16 水質歷史資料

日期	910304	910506	910902	911202	920210	920505	920805	921103	930105	平均
濁度	18	17	140	14	22	36	450	9.0	40	79NTU
色度	8	8	30	11	7	8	34	5	5	13

備註: (93 年 1 月至 95 年 1 月因鐵、錳過高停止供水而無採樣資料)

表 3.17 自來水公司玉井營運所（楠玉、鏡面）加藥表

項目		原水濁度 (NTU)					
		10NTU	20NTU	40NTU	60NTU	80NTU	100NTU
加藥率 ppm	上限	37	42	50	57	62	67
	中限	33	36	43	49	54	58
	下限	28	31	37	42	47	50

二、降低原水懸浮固體量和濁度致加藥量(液體硫酸鋁)減少之直接年效益計算:

每日減少加藥量: $2,655 \times 14 \times 0.001 = 37\text{公斤}$

每年減少加藥量: $37 \times 365 = 13,505\text{公斤}$

依據自來水公司採購價每公斤 4 元計算

直接年效益為 $4 \times 13,505 = 54,020\text{元}$ 。

- 三、原水氮氮含量少，去除效益不彰顯，因此加氮量忽略不計。
- 四、直接年效益小計 2,956,500 元 + 54,020 元 = 3,000,000 元

3.9.2. 不可量化效益評估

集水區治理不可量化之無形效益簡述如下：

- 一、減少生活廢水不當排放所造成之表土流失及水庫淤積，並能涵養水源、改善水質及美化環境。
- 二、增加庫容及防洪能力、降低災害發生程度、保障民眾財產。
- 三、進行水質改善工程可降低水質污染及減少水庫優養化問題，氮磷濃度之降低可以提高用水端之用水品質，居民生活品質之提升、農村經濟之繁榮及改善河川溪流環境
- 四、生態工法之應用能逐步復育被破壞之生態景觀、保育自然生態、增加地下水補助、維護土地生產力，營造適合現地物種生存發展之空間。

以上不可量化之項目效益雖無客觀之市場經濟價值可供衡量，但其效益有些情況卻遠高於上述可量化效益之價值，一般擬以可量化效益百分之三十估計。則總計直接年效益為 $3,000,000 \times 1.3 = 3,900,000$ 元

3.9.3. 年計成本分析

以生態工法淨化水質總費用約 2,556.5 萬元(如表 3.2)，年計成本包括年利息、年償債基金與年運轉維護費用，茲分述如下：

一、年利息以總投資額 6% 計算，即為約 153.4 萬元。

二、年償債基金

工程投資攤還基金，依經濟分析年限 50 年計算，每年平均攤還，加上年利率 6% 複利計算，則年償債基金為總投資額之 0.344%，即為 8.8 萬元。

三、年運轉維護成本

以建造工程費 3% 計算，即為 76.7 萬元。

四、上述三項成本總合約 240 萬元即為年計成本。

3.9.4. 經濟效益分析

每年鏡面水庫集水區水質淨化工法可有效減少濕污泥量約 5,840 立方公尺。預期投資 2,556.5 萬元，可有效降低水質污染及減少水庫優養化問題，並提高用水端之用水品質，由上述資料得知，本計畫之年計成本為 240 萬元，年計效益含直接及間接效益為 390 萬元，其益本比為 1.63，由此可知本研究實屬經濟可行。

肆、結論與建議

4.1. 結論

鏡面水庫保護區內點源污染多來自生活污水；而非點源污染源主要來自農藥及肥料。一遇下雨，這些滲入土壤污染物將被沖刷進入承受水體，造成污染。尤其久旱後第一次暴雨或每次降雨前幾十分鐘所排的水，常含有可觀污染物包括高濃度 BOD、沈澱物、營養鹽、有毒物質、農藥、細菌及鹽類等，此一現象稱為初始沖刷(first flush)，如能有效淨化則可避免水質繼續惡化，解決水庫多年的污染問題。本研究整理結論如下：

1、考量鏡面水庫居民散住各地特性及設施本土化、節能、經費等因子，本研究評定以草溝處理點源污染最為理想，除可減少污水匯流井及排水溝等設備外，亦可配合現地景觀予以美化綠化之設計，使雨水產生的地表逕流量和逕流污染量同時減輕。

2、集水區每家住戶的廢水排放口連接 30 公尺的帶狀草溝，雖無互相連結且無直接注入濕式滯留池，但因生活污水量少，並排入草溝內長時間的淨化，已將草溝的沉澱，吸附、過濾、固結、下滲、微生物分解、轉換、化學等作用完全發揮，雖經日

後再次的暴雨沖刷，然污染物已被削減殆盡。因此帶狀草溝可與濕式滯留池產生相乘效益。

3、傳統上滯留設施為防洪，但實質上卻有自淨機制，它可以蒐集、分解、濾除污染物改善水質之多重作用。與人工濕地強調棲地品質，孕育繁盛物種為補償目標，有顯著不同。唯設計上應考慮池子大小、形狀及滯留時間；體積要能收集處理集水區每次降雨初期沖刷流出 10-15mm 的雨水逕流量，即所為的水質體積 (Water Quality Volume, WQV)；而形狀以 3:1 的長方形，才能有效祛除污染物。

4、水質淨化生態工法之實施對水庫水質惡化情形短期即可改善見效，益本化 1.63，為一高效率、高經濟價值的工法，非常值得予以實施。鏡面水庫水體水質經「水質淨化生態工法」改善後，大部分時間皆穩定在乙類水質狀態。

4.2. 建議

1. 水質改善之評估基準建議採用自來水水源水質標準之綜合性指標；目前行政院環保署均採用卡爾森優養指數(Carlson Trophic State Index, CTSI)作為評估水庫水體水質的優劣程度。然依據飲用水管理條例，水源水質標準係以陸域地面水體（河川、湖泊）分類，將水中溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD₅)、懸浮固體(SS)、大腸桿菌群、總磷與氨氮(NH₃-N)等六項水質參數之濃度值來區分，共分為甲、乙、丙、丁及戊等五類水體以判定自來水水源水質污染程度及取用標準；依飲用水管理條例，需具丙類水體以上水質才可取用。

2. 近年來各項集水區治理之工程，主要為護岸治理、崩塌地治理、農路排水改善及農地水保治理等水土保持工程為主，其次

則是野溪蝕溝保護等。建議除應持續編列經費進行崩塌地之治理工程外，同時亦需特別針對集水區內之污染防治工作列為重點治理項目。建議編列水質改善的經費利用草溝、草帶、入滲溝、滯留池等生態工法及宣導農民集水區保育之觀念配合提供用地進行生態工法佈設以減少農業活動之肥料、農藥等污染物流入庫區。並宣導農民接受新的耕作觀念如深耕施肥法等方式進行集水區非點源污染之處理，以期改善水庫水體之水質，保障水庫供水之品質。

3. 集水區上游地區，土壤抗沖蝕力較低，再加上農民開墾行為，加深水質惡化及水土保持不良的情形。而坡地農耕所引起產生之泥砂、營養鹽與農藥等非點源污染物已被證實是引起水質劣化主因之一，被沖蝕之污染物進入水體，易造成濁度增加、水庫淤積等問題，所以針對超限利用地應由政府進行取締及造林，農地部分則由政府輔導農民進行農地水土保持設施，由於農地地形較為平緩，並不適合採用梯田或平台階段等設施，建議可考量採用草溝等排水設施以達改善並減輕污染量。

4. 在集水區調查發現部分具山坡地保育觀念人士，自動放棄種植高經濟作物，將果樹砍除並於主流鏡面溪兩旁植被綠化各約百米，猶如生態的草帶工法，除可美化環境及減少農藥的噴灑外，也可做為逕流雨水注入鏡面溪之前的過濾帶。對於自動自發默默地進行保育工作並有貢獻者，建議政府酌予實質補助。

5. 自來水淨化過程的濾前加氯，係在氧化鐵、錳、氨氮及有機物；水中鐵、錳含量是水質淨化過程的重要指標，需完全符合飲用水水質標準才能供應用戶端。然各類的水質淨化生態工法，似無針對鐵、錳的去除效果做實驗；鏡面水庫在 93、94 年間曾因鐵、錳過高無法淨化處理而停止出水，更突顯水體中鐵、錳去除的重要性，建議有專家學者續做此方面的研究。

參考文獻

- 1、內政部營建署，日本下水道協會「各流域下水道整備綜合計畫調查方針及解說」，民國 84 年。
- 2、中鼎工程公司，「93 年度非點源污染削減及整治計畫」，民國 93 年 12 月。
- 3、中鼎工程股份有限公司，「台南市鹽水溪水質改善細部設計計畫」，民國 93 年 12 月。
- 4、中華民國自來水協會，「自來水設施操作維護手冊」，民國 82 年 2 月。
- 5、中華民國自來水協會，「水庫水質優氧化對下游淨水廠之衝擊探討」，民國 86 年 12 月。
- 6、中美非點源污染控制管理與技術研討會論文集，1998。
- 7、水環境研究中心(WERC)，「生態工法於水庫集水區治理規劃之運用與水庫水質優氧化改善之應用」，2004。
- 8、台南縣環保局，「二仁溪將軍河流域鄉村與社區汙水削減管理計畫」，民國 92 年 6 月。
- 9、台灣省自來水公司，澎湖縣成功水庫集水區調查治理規

劃報告，1992。

10、生態工法國際研討會，「以生態工程處理生活廢污水」，
Feb. 13-14 2004。

11、行政院公共工程委員會生態工法案例編選集，2004。

12、自來水公司，「鏡面水庫第二次安全評估報告」，1997。

13、李志源，「濕地去污之機制與原理分析李志源」，1999。

14、邱文彥，「溼地規劃原則與流程分析」，2004。

15、明昱技術顧問公司，「鏡面水庫集水區保育計畫」，2005。

16、波特蘭市環保局，「以生態工法『草溝』淨化水質的先
驅構想」，1990。

17、林瑩峰，「溼地類型和作用分析」，1999。

18、美商傑明工程顧問公司，「澎湖縣九十三年度水體水質
改善計畫」，民國 93 年 12 月。

19、前台灣環保局，曾文河流域水污染防治規劃，民國 76
年。

20、逢甲大學，「成功水庫集水區污染源調查分析及改善示

範工程規劃工作計畫」，民國 92 年 12 月。

21、高肇藩「衛生工程給水『自來水』篇」，民國 69 年 9 月。

22、黃志彬，「受污染水源最佳可行處理技術研究」，民國 90 年 10 月。

23、國立台灣大學水工試驗所，「水庫整體保育計畫規範(草案)」，民國 91 年 12 月。

24、張尊國、余忠賢，「德基水庫集水區非點源污染負荷之研究」，第九屆環境規劃與管理研討會，1996。

25、溫清光，「台灣非點源污染管理及控制現況」，中美非點源污染控制管理與技術合作研討會，民國 87 年 3 月。

26、曾文水庫管理局，曾文水庫風景特定區整體開發環境影響評估報告，民國 80 年。

27、嘉南藥理科技大學生態工程技術研發中心，「生活污水自然淨化系統效益評估計畫」，民國 94 年 1 月。

28、環保署網站，環境基準表，2006。

29、環保署，淡水河污染決策系統建立，1994。

- 30、環保署，高屏地區水源保護養豬污染源改善評鑑，1994。
- 31、環保署，小規模養豬戶零排放處理計畫之研究，1994。
- 32、Brix and Schierup, 「溼地去污的基本結構分析」，1990。
- 33、California State Water Resources Control Board,
"California Storm Water Best Management Practice
Handbooks-Industrial / Commercial, " March , 1993.
- 34、Jerald L. Schnoor, Environmental Modeling, FATE
AND TRANSPORT OF POLLUTANTS IN WATER, AIR, AND SOIL,
1996.
- 35、McGraw-Hill, SURFACE, WATER-QUALITY MODELING,
1997.
- 36、Schueler, T.R., "Mitigating the Adverse Impacts of
Urbanization on Streams " in "Watershed Restoration
Sourcebook ", MWCOG, Washington DC, 1991.
- 37、US EPA, "Guidance Specifying Management Measures
for Sources of Nonpoint Pollution in Coastal Waters ",
U.S. EPA Office of Water, Washington DC, 1992.

38、US EPA, "Draft Storm Water Prevention for Industrial Activities," Office of Wastewater Enforcement and Compliance.

39、USEPA QUAL2E Manual (2001)