

行政院所屬各機關出國報告

(出國類別：研究)

研習水庫淤積清除及處理研究與集水區保育及管理

服務機關：經濟部水利處

出國人 職 稱：南水局副局長 副工程司

姓 名：賴伯勳 曾仁宏

出國地區：美國

出國期間：八十九年九月十七日至十月二日

報告日期：八十九年十二月

系統識別號：C08905477

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數：201 含附件：含

報告名稱：

研習水庫淤積清除及處理研究與集水區保育及管理

主辦機關：

經濟部水利處

聯絡人/電話：

出國人員：

賴伯勳 經濟部水利處 南區水資源局 副局長

曾仁宏 經濟部水利處 水源組 副工程司

出國類別：研究

出國地區：美國

出國期間：民國 89 年 09 月 17 日-民國 89 年 10 月 02 日

報告日期：民國 89 年 12 月 30 日

分類號/目：G5/水利工程 G5/水利工程

關鍵詞：水庫淤積清除,水庫淤泥處理及再利用,BMP 措施

內容摘要：

本次出國研習的內容包括三個主題,分別為水庫淤積清除,水庫淤泥處理及再利用,及集水區最佳經營管理之 BMP 措施三項,由於美國地區目前各水庫淤積情況還不嚴

重，故尚無水庫淤積清除之問題，但由衛星定位測量（GPS）與聲納測深儀配合工作船組合而成的水庫淤積測量技術，速度快而精確，美國墾務局已將該測量系統用於水庫淤積測量，並引進國內，但尚未普及，值得吾人進一步落實該項測量技術。水庫淤積物之清除及處理與再利用目前雖方法很多但成本大部分仍相當高，且其再利用情況需因地置宜，隨各個水庫之條件而定，以目前之相關處理技術，配合各種方法之綜合處理應為較可行的方向。而美國維幾尼亞州所發展之都市非工程方法 BMP（Best Management Practices）措施為集水區水質管理之最佳技術，相當值得引進推廣，以有效執行集水區保育及管理業務。

摘 要

本次出國研習的內容包括三個主題，分別為水庫淤積清除、水庫淤泥處理及再利用、及集水區最佳經營管理之 BMP 措施三項，由於美國地區目前各水庫淤積情況還不嚴重，故尚無水庫淤積清除之問題，但由衛星定位測量（GPS）與聲納測深儀配合工作船組合而成的水庫淤積測量技術，速度快而精確，美國墾務局已將該測量系統用於水庫淤積測量，並引進國內，但尚未普及，值得吾人進一步落實該項測量技術。

水庫淤積物之清除及處理與再利用目前雖方法很多但成本大部分仍相當高，且其再利用情況需因地置宜，隨各個水庫之條件而定，以目前之相關處理技術，配合各種方法之綜合處理應為較可行的方向。

而美國維幾尼亞州所發展之都市非工程方法 BMP（Best Management Practices）措施為集水區水質管理之最佳技術，相當值得引進推廣，以有效執行集水區保育及管理業務。該都市非工程方法 BMP 措施乃用以提供集水區經營者、規劃者及工程顧問公司在減少或控制非點源污染對環境衝擊的有效執行技術及方法，並提供估算污染防止或控制量之計算式，以評估實施非工程方法 BMP 措施之效益。

非工程方法 BMP 措施之技術包括污染防止措施及污染控制措施，污染防止措施有土地使用管理及民眾教育，並結合工程控制措施，以有效減少都市集水區水質污染源，以做好水源之最佳保護。

目 錄

第一章 緣

起.....1

壹、研習目

的.....1

貳、行

程.....2

第一章 水庫淤積清除及處理研

究.....3

壹、緒

論.....3

貳、衛星定位系統用於水庫淤積測

量.....8

參、水庫淤積清

除.....20

肆、水庫淤泥處理及再利

用.....58

伍、台灣地區水庫清淤的相關法

規.....	88
陸、岩塞爆	
破.....	89
第二章 集水區保育及管	
理.....	97
壹、前	
言.....	97
貳、處理非點源污染問	
題.....	101
參、選定適當的非工程方法 BMP 策	
略.....	118
肆、污染防止措	
施.....	124
伍、控制措	
施.....	136
第三章 心得與建	
議.....	180
參考文	
獻.....	181

附

錄.....182

圖目錄

圖一	水庫淤積分佈設計曲線圖.....	5
圖二	典型的水庫淤積縱向剖面圖.....	7
圖三	修正等高線面積之寬度校正法.....	18
圖四	吸揚式抽泥船配置圖.....	25
圖五	氣力泵之工作原理圖.....	31
圖六	氣力泵之垂直清淤示意圖.....	31
圖七	虹吸抽泥管跨於壩體上或與水壩低水位出口相連接示意	

圖..33

圖 八 水 庫 虹 吸 清 淤 示 意

圖.....33

圖 九 水 庫 虹 吸 清 淤 之 出 口 連 接

圖.....34

圖 十 水 力 排 砂 清 淤 示 意

圖.....38

圖 十 一 異 重 流 在 水 庫 中 之 泥 砂 運 動 過 程 示 意

圖.....42

圖 十 二 水 庫 浚 渫 淤 泥 之 處 理 流 程

圖.....69

圖 十 三 水 庫 不 含 有 害 物 質 無 機 浚 渫 物 之 處 理 流 程

圖.....71

圖 十 四 化 學 固 化 處 理 之 流 程

圖.....72

圖 十 五 壓 縮 脫 水 處 理 流 程

圖.....75

圖 十 六 離 心 機 脫 水 處 理 流 程

圖.....76

圖十七	渠道含砂濃度與水力強度指標之關係	
圖	.....	84
圖十八	岩塞中心線傾角示意	
圖	.....	94
圖十九	遼寧清河水庫 211 引水工程岩塞與聚渣型	
式	.....	96
圖二十	美國湖泊各種主要非點源污染所佔的比	
例	.....	105
圖二十一	各種非點源污染對水資源之影	
響	.....	107
圖二十二	美國各級政府各項主要非點源污染法規關係	
圖	.....	117
圖二十三	都市植生保護區對營養鹽減少之機	
制	.....	139
圖二十四	河濱森林保護帶三區系統機制	
圖	.....	148
圖二十五	典型的植生過濾	
帶	.....	151
圖二十六	植生過濾帶的水質機	

制.....152

圖二十七 過濾帶長度對泥砂移除之效

果.....155

圖二十八 水平分散式之植生過濾帶系統..... 156

圖二十九 草澤地使用節制壩之情形

.....160

圖三十 生物調節池的概念圖.....161

圖三十一 生物調節池使用上之立地限制及條件.....163

圖三十二 典型的生物調節池放樣圖.....165

圖三十三 生物調節池的濾層設計概念圖.....167

圖三十四 濕地土壤之氮循環轉化過程.....168

圖三十五 一典型的暴雨濕地設計圖.....171

表目錄

表一	水庫淤積分佈設計型態曲線之選定.....	5
表二	水庫淤積物主要粒徑大小與曲線型態關係表.....	5
表三	GPS 差分測量(DGPS)及即時動態測量(RTK)比較表.....	15
表四	中國大陸地區採用虹吸抽泥方式的水庫情況.....	37
表五	各種水庫清淤方式之適用性.....	55
表六	台灣地區水庫清淤之概略單位成本(1995 年).....	56
表七	水庫浚渫之影響要素.....	57
表八	一般浚渫物需進行之物理、化學性質分析項目.....	68
表九	目前已有之固化劑種	

類.....	73
表十 目前已有之商業化固化劑產品.....	73
表十一 不同固化劑之固化強度及其處理成本.....	74
表十二 依淤泥特性之利用方式.....	78
表十三 依固化劑比例高低之再利用方式.....	78
表十四 水庫浚渫物淤泥之最終處置方案彙整表.....	87
表十五 台灣地區水庫清淤的相關法規.....	88
表十六 中國大陸部分岩塞爆破工程簡要綜合表.....	91
表十七 都市暴雨逕流常見之污染源.....	102
表十八 都市逕流及公路逕流之各種污染物濃度統計表.....	103

表 十 九	都 市 之 非 點 源 污 染 源.....	108
表 二 十	非 點 源 污 染 物 之 類 別 及 其 檢 測 項 目.....	109
表 二 十 一	美 國 之 水 質 標 準.....	112
表 二 十 二	不 同 土 壤 型 態 及 土 地 利 用 對 逕 流 之 泥 砂、 氮、 磷 污 染 情 況.....	114
表 二 十 三	維 幾 尼 亞 州 都 市 非 點 源 污 染 經 營 管 理 措 施.....	116
表 二 十 四	各 類 污 染 之 適 當 的 BMP 控 制 技 術.....	119
表 二 十 五	各 種 不 同 開 發 型 態 的 非 工 程 方 法 BMP 措 施 設 計 標 準	120
表 二 十 六	非 工 程 方 法 BMP 措 施 對 水 質 改 善 之 各 項 評 審 準 則.....	122
表 二 十 七	都 市 河 濱 緩 衝 帶 造 林 成 木 後 對 營 養 鹽 負 荷 減 少 的 效 果.....	130

表二十八	十五種常見的民眾減少非點源污染的活動.....	132
表二十九	狗之排泄物非點源污染量之簡易計算式.....	134
表三十	植生控制措施對營養鹽磷之移除效率標準之目標	137
表三十一	植生保護區提供 BMP 措施之篩選條件.....	141
表三十二	Chesapeake Bay Method 之不同污染物之 C 值.....	143
表三十三	Chesapeake Bay Method 計算污染源需移除量之詳細計算表.....	146
表三十四	當 BMP 措施之植生過濾帶篩選標準.....	153
表三十五	適用在 BMP 措施的草澤地篩選條件.....	158
表三十六	街道常見的污染源.....	174
表三十七	街道路面污染源各種粒徑大小所佔百分比.....	175
表三十八(1)	街道各種污染源、顆粒大小之清除效率.....	176
表三十八(2)	街道各種污染源、顆粒大小之清除效率.....	177
表三十九	一般適用的街道清除設備.....	179

第一章 緣 起

壹、研習目的

水庫之淤積，其有效容量關係著各項營運功能，亦影響水庫使用之壽命，故如何有效防止水庫淤積實乃水庫經營管理之重點所

在。但水庫淤積清除之技術相當困難，亦與水庫集水區保育與管理有相當密切之關係，由於國內相關經驗頗為缺乏，故研提本「研習水庫淤積清除及處理與集水區保育及管理」出國計畫，期能透過國外觀摩學習，以增進瞭解及提升技術水準。

貳、行程

日期	到達地點	詳細工作內容
9月17日/日	台北—舊金山	啟程
9月18日/一	舊金山	觀摩墾務局集水區保育及管理計畫
9月19日/二	舊金山	觀摩墾務局集水區保育及管理計畫
9月20日/三	舊金山—丹佛	前往丹佛拜會墾務局
9月21日/四	丹佛	觀摩墾務局集水區保育及管理計畫
9月22日/五	丹佛—水牛城	前往水牛城(含時差,傍晚始能抵達)
9月23日/六	水牛城	拜會CDM分公司並觀摩相關計畫
9月24日/日	水牛城—多倫多	觀摩相關計畫
9月25日/一	多倫多—波士頓	前往波士頓、觀摩波士頓港清淤工程
9月26日/二	波士頓	觀摩 Muddy River Restoration Project
9月27日/三	波士頓—華盛頓特區	前往華盛頓特區
9月28日/四	華盛頓特區	拜會 Soil Conservation Service 等政府機構
9月29日/五	華盛頓特區—紐約	前往紐約
9月30日/六	紐約	資料整理及回程
10月1日/日	紐約	資料整理及回程
10月2日/一	紐約—台北	回程

第二章 水庫淤積清除及處理研究

壹、緒論

水庫淤積會造成水庫蓄水容量的減少，進而影響水庫操作的效率，並影響下游河道沖刷之副面作用。水庫淤砂沈積的過程主要受到水庫入流量及泥砂入流量變化、沈積物顆粒大小變化、水庫操作循環、水庫蓄水型態、大小之物理特性等因素之影響，並受到上游集水區植生覆蓋、沖蝕特性之影響，一般粗顆粒沈積在水庫上游三角洲、河底，而細顆粒則沈積在水壩及取水口附近。

水庫淤積是上游集水區沖蝕之終產物，水庫淤積率（即每單位排水面積的泥砂產量）受到集水區各項因子之影響，包括：

降雨量及降雨強度。

土壤型態及地質型態。

地面覆蓋。

土地利用。

地形。

坡地沖蝕。

逕流。

泥砂顆粒特性。

渠道水力特性。

水庫淤積影響水庫之壽命及水庫操作，水庫年平均泥砂流入量、水庫之囚砂率、水庫淤砂之最大密度及水庫內之淤砂分佈均為壩工設計時需考慮之重要項目。為防止有效蓄水量在水庫經濟壽命內遭泥砂淤積，適當呆水容量設計應包括在水庫原始設計之內，美國墾務局以超過水庫總容量之百分之五當一般經濟壽命為 100 年之水庫之呆水容量設計。當水庫淤積超過水庫總蓄水量之四分之一以上時，即需要分析囚砂率以進一步瞭解水庫未來的使用壽命。而水庫淤砂密度亦為水庫淤積之重要特性之一，其受到水庫操作、沈積物質地及顆粒大小、沈積物固結率之影響，其中以水庫操作影響水庫淤砂密度最大。

而不同水庫水深的水庫淤積量分佈變化，可由美國墾務局所建立的淤積分佈設計曲線概估之，參如圖一之水庫淤積分佈設計曲線圖及表一之設計型態曲線之選定。

水庫淤積隨水深變化之分佈，受到水庫操作方式、沈積物顆粒質地及粒徑大小、水庫地形、水庫內淤積量等因素之影響，其中以水庫地形為主要考量因素，使用圖一時其曲線選擇可由表一之因素決定之，綜合考慮時以現場何項因素影響較大決定之。另沈積物顆粒質地及粒徑大小，也可一併納入考慮（如表二），以決定採用那一條曲線進行預測。

水庫淤積的縱向分佈在淤積之最上游端會形成三角洲沈積，該地方因泥砂淤高容易造成洪泛，一般以 100 年頻率設計三角洲沈積對跨三角洲構造物之安全標準。典型的水庫淤積縱向剖面圖如圖二，該剖面圖分成頂部坡、前端坡及樞紐點，樞紐點一般為水庫操作水位之 50% 位置，隨水庫操作而變化，而三角洲沈積為 100 年或 50 年洪水頻率所帶來粒徑大於 0.062 mm 之粗砂，當河床載為零時所堆積而成。

水庫淤積由於輸砂載減少，會對下游河川造成淘刷之後遺症，但如透過排砂道排除粒徑大於 0.062 mm 之砂粒級之泥砂，則可減緩下游河川之淘刷，當下游河床面之粗顆粒形成遮蔽作用之後，則下游河川之淘刷才會減緩。如果下游沒有足夠的粗顆粒砂源以形成河床之遮蔽作用，則下游河道之沖刷平衡之穩定河道可以穩定坡度法來判定，穩定坡度即代表河床載輸砂率為零之河床坡度，可以各種輸砂公式計算求得。

貳、衛星定位系統用於水庫淤積測量

一、前言

水庫淤積量之量測包括直接法及間接法，直接法為水庫淤積測量及採樣，可得到相當可靠之結果；間接法為建立集水區參數與泥砂量之經驗關係式或使用土壤流失萬用公式進行預測。

衛星定位系統為水庫淤積直接測量方法之一，在水庫淤積測量之應用上可提供即時、省錢之精確測量技術，其使用設備包括 GPS 測量儀、聲納測深儀、個人電腦、WINDOW 視窗環境之 HYPACK 套裝軟體等。

二、水庫淤積測量的目的

水庫淤積測量的目的在於判定水庫操作是否滿足用水人之需求、量測泥砂淤積量、判定水庫現有容量及蓄水容量減少之趨勢、建立水庫集水區之泥砂產量及評估計畫效益等目的。但水庫淤積測量最主要的目的在於量測並建立水庫現有之面積—容量曲線。並具有判定現有水庫地形、估計水庫經濟壽命、再解決水庫蓄水容量減少之隱憂等目的，以助於瞭解現有水庫情況，規劃其他水庫，監測上游土地經營措施及評估現有水庫操作方式等益處。

三、水庫淤積測量的頻度

水庫淤積測量的次數一般依測量及分析經費、資料收集方法、

測量之範圍等因素而定，一般以五年或十年一次進行測量，依泥砂入流量，水庫大小而定，水庫愈大，測量次數就愈少。但遇特殊情況，如發生大洪水、水庫集水區遭大量開發、發生森林大火、瞭解水庫淤積率等情況時，也可進行補測。

用於洪水控制、提供民生用水、水庫位於都會區等水庫操作風險較大之水庫亦應增加水庫測量的次數，並應加強淤積監測。

四、建立一套淤積測量系統

任何資料收集計畫的目的在獲取所使用設備之資料的最高品質，資料的正確性依使用設備之型式及品質、資料收集的方法及強度、人為的訓練及經驗等因素而定。電子測量儀器近年來在距離測量設備、聲納設備及電腦收集系統的改善，在量測精度、測量速度及減少成本上均有長足的進步。

進行水庫測量時，以下問題需先考慮：

研究目的為何？

最終成果之需求為何？

測量精度之需求為何？

測量系統需多久使用一次？

人員之經歷及興趣為何？

系統採購之預算是否足夠？

是否租用最新技術的資料收集系統？

是否以較低成本承包測量作業？

1 . 依需要建立測量系統

隨電腦及電子儀器的進步，水庫淤積測量及資料分析技術一直在進步，測量人員需隨時學習新的測量技術以建立適當而更有效的水庫淤積測量系統。

2 . 建立資料收集，儲存及分析軟體系統

無軟體使用：有時只為收集少量之資料，為單一計畫之目的而無測量或分析軟體，分析時很耗時，最後會質疑：為什麼我這樣做？

自己開發撰寫程式軟體：幾年前既有軟體無法滿足所有需求，且成本高，故有些人就自己開發撰寫程式，以滿足特定需求使用。

購買既有軟體：由於電子技術的進步及軟體的開發，現有很多水道測量資料收集及分析的套裝軟體可滿足使用者之需求，價格在美金 5000 至 10000 元之間。而等高線之繪製，一般則使用工作站，以處理大量資料並可列印成圖，軟體一般有 ARC / INFO , AutoCAD、Surfer、Intergraph 等。

有些測量儀器硬體廠商則自己開發水道測量套裝軟體搭配在

GPS 定位軟體內，如 Trimble 公司；有些硬體廠商則不開發軟體而搭配其他賣主開發之軟體，如 HYPACK 及 Innerspace 公司。以下為一些水道測量套裝軟體產品：

Innerspace Technology , Inc

最新版本為 DLWG 資料處理軟體，容易操作，具有野外 GPS 等測量儀器之定位、深度資料收集功能，但後端分析處理功能較弱。

HYPACK

HYPACK 為視窗軟體，具有多方面功能，使用普遍且功能強大，可同時接收不同設備之資料，可只購買資料收集子模組，資料分析模組具有以下之功能：

收集單頻及多頻資料功能。

大地座標轉換功能。

大氣校正功能。

編輯單頻及多頻資料功能。

建立三角格網模組功能。

體積計算功能。

該軟體支援 GPS 測量、製圖、及聲納測深儀功能，可支援之設備有：

Range-Range Navigation Systems

Range-Azimuth Navigation Systems

GPS Navigation Systems

回音測深器

執行 HYPACK 軟體所需的最低需求配備為：

硬碟：20MB 以上。

RAM：單頻 8MB 以上，多頻 32MB 以上。

監視器：解析度 640×480 以上

中央處理器：66MHZ 以上。

視窗版本：需 Window 級視窗軟體。

介面卡：HYPACK 對各項測量項目需插入個別介面卡。

五、資料收集設備及技術

水道測量在平面座標的定位技術上，在過去幾年來有很大的進步，過去水庫淤積測量在平面座標的定位多以斷面測量法，使用電子測距儀及測量船由一已知點沿斷面線進行測量定位，定位方式由角度—距離測量或多方位距離測量定出。近年來由於衛星定位技術的發展，可使用 GPS 以低成本 快速定位出公分級的平面座標系統，相當值得推廣使用。

六、水庫淤積測量技術

水庫淤積測量最新的技術為以工作船方式，在平面定位上使用

GPS，水庫淤積深度測量使用多頻聲納測深儀，並使用地形分析軟體進行分析，可達到快速、省錢、精確的水庫淤積測量成果。

1.水平定位

水庫淤積測量的平面定位使用 GPS 系統有資料最正確、成本最低、座標系統最廣泛等優點，故為當今水道測量的最佳技術。

使用 GPS 定位時乃以後方交會法以衛星為已知點反求地面接收站之位置座標，每次施測時最少需有四顆衛星可觀測到，以進行 x 、 y 、 z 三方向及時間 t 四個參數之建立。

GDOP 幾何精度誤差

地面接收儀與觀測衛星間之夾角會影響觀測之精度，其間之夾角愈小，觀測精度之誤差愈大。

GPS 絕對模式測量

使用單一 GPS 接收儀進行定位，一般精度差，無法用於水道定位測量使用，因其測量精度誤差受到以下幾個因子的影響無法消除，但可減少其誤差，分別為：

時間：由於衛星及接收儀之時間差。

大氣延遲：由於電離層無線電信號的影響。

接收儀雜訊：由於 GPS 接收儀的品質。

多頻率：由於所接收之信號可能是由於障礙物反射而有不同

的途徑。

由於以上因子之影響，GPS 絕對模式定位之即時觀測定位精度最高只能達到 10 至 16 公尺之間，長時定位觀測之精度最高能達到 ± 4 公尺。

GPS 差分測量 (DGPS)

GPS 差分測量方式，乃以兩個接收儀進行測量，其中一個設於已知點，另一個進行未知點測量，因其二點之固有誤差大致相同，可以消除或減少，故可由其已知點推求另一未知點之相對位置而進行定位測量，其測量誤差隨 GPS 接收儀器之等級及經費，有 ± 2 至 ± 5 公尺、 ± 0.5 公尺、公分級等幾種，由於水庫淤積測量平面座標之精度只需要 1 至 2 公尺即可，故 GPS 差分測量可滿足水庫淤積平面測量之要求。

即時動態 GPS 測量 (RTK)

GPS 差分測量雖可用於水庫淤積測量，但一般其精度較差且測量速度較慢。故即時動態 GPS 測量才是今後用於水庫淤積測量的良好技術，其測量速度快，可進行即時測量，且測量之精度在水平座標可達 2 公分，垂直方向可達 3 公分，且一分鐘內可定位。

GPS 差分測量 (DGPS) 及即時動態測量 (RTK) 比較參表三。

	DGPS	RTK
需接收之衛星數目	最少 3 顆 (水平測量 3 顆即可)	初始化時需 5 顆 , 開始測量後需 4 顆
定位之初始化時間	可快速初始化	1 分鐘以上
測量精度	1 公尺以下	可達誤差僅 2 至 3 公分之精度
參考基站	由測量位置附近幾英哩處之基站進行信號校正	需在測量位置附近設基站

表三 GPS 差分測量 (DGPS) 及即時動態測量 (RTK) 比較表

即時動態 GPS 測量可進行即時測量，每秒可接收到 5 至 10 次衛星資料；但亦有其限制條件，其限制條件為：

基站最遠需設於 10 至 20 km 內。

初始化時需接收到 5 顆衛星，開始測量後需 4 顆衛星。

GPS 之測量系統為 WGS84 全球座標系統，用於區域性之座標系統時需進行座標轉換，會造成誤差。

RTK 之系統設備經費比 DGPS 設備貴 3 至 5 倍。

GPS 測量時如附近有大型建築物、大船、陡峭岩壁、大壩等障礙物，衛星訊號往往會有反射雜訊，造成測量之誤差，需予以排除。

GPS 測量後需進行座標轉換，由 WGS84 全球座標系統轉換至 UTM 等區域性座標系統。

2.深度測量

水庫淤積深度測量使用聲納回音深度測量儀以量測水庫之水深，可提供連續剖面之功能及類比式庫底剖面資料，並可經由後端處理後轉換成數位式資料，經由仔細檢定及校正資料技術後，其庫底剖面精度之誤差可達 0.5 英尺以內。

傳統式使用之測線及測桿，當庫底有濃密植生、水深很淺、判定庫底材料時仍需要使用到。

七、測量船

測量船型式依水庫大小及設備型式而定，小水庫用比較輕便及小型測量船。美國墾務局已發展出一人操作的大型測量船。測量船內應包含之水庫淤積測量設備有：

GPS 接收儀及全方位天線。

聲納測深儀。

舵手。

繪圖儀。

個人電腦。

發電機。

八、測量隊員

素質好、有經驗的測量人員為執行一有效率成功測量的必備條

件，雖然操作一套 GPS 水庫淤積測量系統只需一個人，但為安全起見及其他輔助之協助，一般至少需要二個有經驗之測量人員及一個舵手。

九、資料收集方法

現今水庫淤積測量資料收集方法，由於測量設備、收集系統及分析技術的進步已進展到等高線法，其允許有：

大量資料收集、儲存及處理。

提供更正確詳細的水庫等高線圖。

更正確的水庫面積—容量關係曲線。

更正確的水庫淤積計算。

十、決定水庫淤積量

累積水庫淤積量可由新完成之水庫蓄水量與前次之水庫蓄水量比較求得，以下為幾種計算水庫容量的方法：

1.斷面積距離法

由前後兩斷面積之平均乘上間距之距離累加而求得，但誤差大。

2.寬度調整法

由二斷面間之等高線及其間距乘積求得，但等高線面積由一校正因子計算修正求得，校正因子為兩個上下游斷面之新的平均寬度與原始平均寬度之比值，詳如圖三。

圖三 修正等高線面積之寬度校正法

3.等高線地形圖法

由等高線乘上間距累加求得。

4.ARC/INFO 三角不規則網法

由 ARC/INFO GIS 軟體之三角不規則網法透過電腦分析計算可精確求得水庫容量，進而求得水庫淤砂量。

十一、最後結果

水庫淤積測量之終極目的在建立新的水庫高程—面積—容量曲線及關係，有很多軟體可進行這種關係的建立，美國墾務局係以 Area-Capacity Computation Program(ACAP)軟體進行水庫面積—容

量關係圖表之運算，其精度可達 0.01、0.1 或 1.0 公尺間距之要求。

十二、報告撰寫

水庫淤積測量報告應提供以下之訊息，以供應用：

壩、水庫、集水區的一般訊息。

水庫歷史測量紀錄。

描述現在測量及採樣之技術及設備。

水庫平面圖及等高線圖。

所有主要測量控制點座標資料。

水庫規線資料。

水庫剖面圖。

淤砂粒徑、密度資料。

修正之水庫面積—容量曲線表。

估計因砂率用之水庫泥砂入流量及出流量資料。

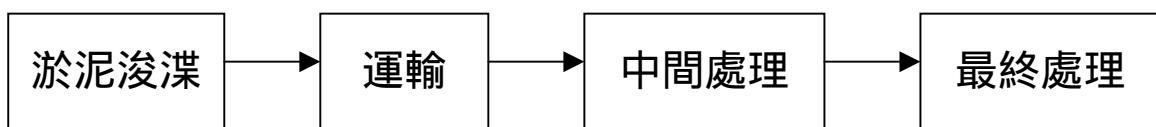
完整的水庫淤積測量計算資料。

參、水庫淤積清除

一、水庫浚渫之目的

水庫浚渫之目的在於維護水庫之有效容積，使其發揮設計功能。廣義而言，庫容之維護可經由各種減少水庫淤積措施之運用來達成。依其本質，可分為減少上游砂源、浚渫水庫淤砂及減低水庫來砂落淤量三大類。就其運用機理而言，減少上游砂源為維護水庫容積之基本措施，但須長期持續推展，方能於將來看到其效果。淤砂之浚渫則為治標措施，如適當運用，可速見其效果，但亦須定期實施，方能達到長期維護庫容之目的。減低來砂在水庫內落淤量以中國大陸所發展之「蓄清排渾」最為世人所知。其特點為經由水庫運轉策略之應用，使大部份來砂穿過水庫而排入下游河道，其代價為犧牲部份水庫之蓄水功能，因此可視為一折衷性之維護措施。為求兼顧治本（長期）與治標（短期）之水庫維護目標，上述三種方式可依須要予以綜合運用。

二、水庫清淤之流程



三、水庫清淤之方式

水庫浚渫係指將水庫內所淤積之泥砂予以清除之作業，依作業所使用之機具或清除機理，浚渫方式大致可分為：陸面機械開挖、浚渫船及水力排沙三大類；另有水庫上游之砂源控制方式等方法。

1．陸面機械開挖

2．機械浚渫船浚渫

水力抽泥船

機械式挖泥船

氣力泵抽泥船

虹吸抽泥船

3．水力排砂清淤

洩降排砂

洩洪排砂

空庫排砂

異重流排砂

蓄清排渾

4．水庫上游砂源控制方式

集水區管理

集水區保育措施

攔砂壩泥砂攔截

上游導洪排砂

四、各種水庫清淤方式之運用機理

1 . 陸面機械開挖

陸面機械開挖為利用挖土、裝土、運土之機具以清除露出水庫水面淤砂之一種浚渫方式。使用之機具通常包括挖土機(含挖溝機、鏟斗機、抓斗機)、裝載機、推土機及傾卸卡車。

在實際以陸面機械開挖方式進行水庫浚渫時,通常以挖土機(亦即挖溝機、鏟斗機或抓斗機)開挖露出水面之淤泥,並將挖方直接由挖土機或利用裝載機裝入傾卸卡車,輸運到指定之棄土場傾卸。推土機則主要用於棄土場之清理與整地作業。必要時,亦可於棄土場配置挖土機配合推土機,以提高棄土後之整地效率。

陸面機械開挖亦為台灣目前最常用之一種水庫清淤方式,曾用以清除白河、明德、大埔及德元埤等水庫之淤泥。在適當之天候、水位等情況下,此清淤方式可維持高效率進行。以明德水庫為例,該水庫於民國 82 年 11 月 7 日 83 年 1 月 20 日進行機械開挖清淤,共動用 15 部挖土機、6 部推土機及 37 輛運土卡車。每日作業 18 小時,平均每日浚渫量達 9,060 立方公尺。在為期 75 天之作業期間內,共清除中游段庫區之淤泥 679,250 立方公尺。台灣機械開挖之浚渫物

大抵依棄土區之具體條件作適當之處理。其方式包括用以填高低窪地區之農地（如大埔與德元埤水庫）填平山谷以改變為農地（如明德與大埔水庫）或永久棄置於棄土區（如白河水庫）。

根據以往台灣水庫之陸面機械開挖浚渫資料，開挖作業主要以挖溝來進行，並直接將挖方裝入傾卸卡車。棄土場則配置挖溝機及推土機以進行整地作業。使用裝載機將挖方裝入傾卸卡車之作業方式並不普遍。傾卸卡車則又以後卸式為主。

陸面機械開挖適於在枯水季，水庫水位低時實施。由於需要低水位配合，因此，以浚渫上游段庫區淤泥之機會較多。作業所採用挖土機之機型及工作能量取決於庫泥之組成及其載重強度。如淤積物含有多量之砂質且風乾程度良好，則庫泥可承受大型挖土機與傾卸卡車之浚渫運輸作業。如淤積物含有大量之細泥（如黏土及坩土）且風乾度低，則需鋪設模板，以承受挖土機及傾卸卡車之運轉行駛。為提高庫泥之承重能力，可於浚渫作業前，在預定浚渫區提前開挖排水渠，以降低庫泥之含水量。預定浚渫區必須已具有或可修建通達道路以運入相關之浚渫機具及裝運挖方到棄土場。

2 . 機械浚渫船浚渫

機械浚渫船係以工作船上所配置之抽泥或挖泥設備來清除庫底淤泥之一種浚渫方式。其特點為可機動的清除水下淤泥，而不致於

影響水庫之正常運轉。依其運轉機理及動力來源，浚渫船浚渫可分為：水力式抽泥；機械式挖泥；氣力泵抽泥；虹吸抽泥等四類。

水力抽泥船

水力式抽泥船以泥漿泵為動力，使在吸泥管內形成管流，利用管流之水力完成抽泥和輸泥作業。抽泥船之基本型式為吸揚式抽泥船，其吸泥管頭部未配備任何鬆泥或助吸部件。為提高抽泥效率，可在吸泥管頭部裝設絞刀鬆土器（稱為絞吸式抽泥船）或配以耙頭（稱為耙吸抽泥船）。

吸揚式抽泥船

吸揚式抽泥船利用裝設在船上之泥漿泵，使水下之吸泥管在頭部形成負壓，產生管流，將泥漿吸入吸泥管，再經過泵體和排泥管輸送出去。吸泥部位可經由抽泥船之移動來控制。所抽出之淤泥可由排泥管輸入儲泥艙、直接拋射在岸上之棄泥區或以輸泥管輸至岸上之沉砂池。

吸揚式抽泥船作業時對吸頭與庫泥淤積面間距離之適當控制較難。如吸頭距泥面太高，則所形成之管流無法在泥面上起動泥砂，吸入者大多為清水，抽泥效率低。如吸頭距泥面太近，則可能因吸入泥漿濃度過高，導致堵管，或因頭部緊貼淤泥面，

發生“悶死”現象。吸揚式抽泥船配置圖參圖四。

圖四 吸揚式抽泥船配置圖

絞吸式抽泥船

絞吸式抽泥船的吸泥管頭部配有絞刀鬆土器，以切削、攪碎淤積物，提高吸頭附近之泥漿濃度。絞吸式抽泥船適用於挖掘比較堅硬之淤積物。絞刀依其形式又可分為開式、閉式、斗輪式及立式絞刀等。

耙吸式抽泥船

耙吸式抽泥船為在吸泥管頭部配以耙頭之吸揚式抽泥船。耙頭具有較大接觸淤泥面之吸口面積。運轉時，耙頭隨抽泥船之移動而於泥面上拖動滑行。泥漿泵啟動後，在耙頭腔內形成低壓區，使水流沿著吸縫以高速進入耙腔內。吸縫附近之淤泥因受高速水流之攪動，形成較高濃度之泥漿，被吸入吸泥管，經泵體再由排泥管清出。耙吸式抽泥船一般都有自航設備及儲泥艙，大型之耙吸式抽泥船亦有採邊拋方式卸泥者。

水力式抽泥船已廣泛的應用於國內外之水庫浚渫工程，就國內而言，水力抽泥船浚渫方式多年來已經使用於石門、白河及石岡壩水庫。

中國大陸雲南省以禮河第 2 梯級發電廠之水槽子水庫於 1979 年起陸續購置 3 艘 $60 \text{ m}^3/\text{hr}$ 之絞吸式挖泥船及一艘 $150 \text{ m}^3/\text{hr}$ 可挖深 10 m 之電動絞吸式抽泥船，同時增建岸邊配套工程(輸泥管線及中繼泵站等)，於 1987 年投入運行實施水力抽泥清淤。

雲南省之宣火電廠也使用水力絞吸式抽泥船清除冷卻用水庫之淤泥。該水庫於 1980 年購一艘抽泥能力每小時 120 m^3 之絞吸式抽泥船。至 1982 年之三年間，共清除 35.9 萬立方公尺之淤積物，並以之堆填出 260 畝之土地。

機械式挖泥船

機械式挖泥船係利用泥斗在水面下直接挖泥及提升以進行浚渫作業。機械式挖泥船可依其所配備泥斗之型態分為鏈斗、抓斗、鏟斗及輪斗式等。此類挖泥船可配備鑽爆船，預先進行水下淤泥爆破，以提高挖泥效率。

鏈斗式挖泥船

鏈斗式挖泥船之結構包含一條由泥斗和鏈節組成的斗鏈。斗鏈纏繞在斗橋的上下導輪之間。上導輪與驅動系統之動力齒輪相連。下導輪用設於船尾之絞車通過鋼絲索懸吊，使下導輪可繞導輪架在船尾的支點轉動以控制挖泥深度。挖泥時，斗鏈在上導輪的動力驅動下，在水中連續完成切土、裝泥、提升之作業。泥斗在經過斗橋上導輪轉而向下時，斗中之泥砂因自身重量而卸入導輪下方之帶式輸送機上，將泥砂送入泥駁或直接拋到岸上的堆置場。鏈斗式挖泥船之運用範圍廣，幾乎可挖掘任何土質，對低粘性砂土效果更好。大型鏈斗式挖泥船工作率每小時可達 1,400 m³。

抓斗式挖泥船

抓斗式挖泥船為一具有吊機和抓斗之工作船。作業時先將抓斗吊臂轉到預定挖掘地點。在抓斗降落接近水面時，鬆開絞車鼓

輪，使已張開之抓斗依其自身重量在水中垂直下落。在抓斗之斗齒破土插入泥中之後，開始絞緊閉斗纜索，使抓斗邊抓邊閉合。在抓斗完全閉合後，起吊抓斗使離水面，並旋轉吊臂到預定地點鬆開抓斗卸泥。據資料顯示，目前最大抓斗鏟斗兩用挖泥船之抓斗容量為 38.2 m^3 。

鏟斗式挖泥船

鏟斗式挖泥船在船體端部安裝一台鏟斗機。其鏟斗可為索式鏟斗，亦可為硬臂之正向鏟或反向鏟。鏟斗挖泥船可連續完成挖泥、提升作業，但無輸送能力，必須配以輸泥機具方能進行浚渫作業。目前鏟斗挖泥船之最大斗容量為 38 m^3 。鏟斗式挖泥船能適應挖掘較硬之淤積物。

斗輪式挖泥船

斗輪式挖泥船在船首部位裝有一具可活動之長臂。在臂端裝有一旋轉斗輪，隨著斗輪旋轉，斗輪外緣之斗刀便完成切土、提升工作。當斗刀轉到最高點再向下轉時，斗刀內之泥砂由於自身重量而自由落下，由斗輪轉軸附近之吸泥管吸走。此種挖泥船結合水力式抽泥船與機械式挖泥船之優點。它利用機械斗刀切土提升，再利用泥漿泵吸管將挖出之泥砂吸走，因此浚渫效率高。大型之斗輪式挖泥船工作率每小時可達 $2,250 \text{ m}^3$ 。

機械式挖泥船除斗輪式外，均利用泥斗或抓斗將泥砂提升出水面。在提升過程中，細粒淤泥易於擴散，影響浚渫效率，對於清除含有污染物的淤泥和水力發電廠進水口附近泥砂亦有不利之影響。因此，機械式挖泥船較適於清除粗粒淤砂。

氣力泵抽泥船

氣力泵抽泥為以泵體，利用空氣壓縮機，使循環往復的進行吸泥、排泥、排氣三個過程，將淤泥清出水庫之一種浚渫方式。氣力泵清淤以工作船來進行，主要組成包括泵體、空氣分配器及空氣壓縮機，附屬設備包括懸吊系統、移船系統及輸泥管。

氣力泵體一般由二個單體泵（即雙泵體）或三個單體泵按輻射形組合而成（即三泵體）。各泵體為一壓力容器，設有三個開口分別連接底部進泥管、上部排泥管及輸氣管。空氣壓縮機為氣力泵之動力源。空氣分配器之作用則在於依一定順序輪流向各泵體輸入壓縮空氣和釋放體內之壓縮空氣。

在進行清淤作業時，由工作船將氣力泵體沈置於淤泥面上先利用靜水壓力將泥漿壓入處於大氣壓力狀態下之泵體內，直到泥漿注滿泵體。隨後經空氣分配器之控制將壓縮空氣由輸氣管輸入泵體。在高壓空氣之壓迫下，泵體內的泥漿經排泥管排出泵體。當泵內之泥漿將近排空時，開啟輸氣管閥門，釋出泵內之壓縮空氣，

使恢復到大氣壓力狀態，開始下一個作業循環。每個泵體經排氣進泥、泥漿待排氣、進氣排泥三個過程，將泥漿斷續排出。如將兩個以上之單泵體的排泥管經聯通管匯合成一個排泥管排出水面，則可以接近連續排泥之過程將泥漿輸到預定地點。

吸泥、排泥、排氣之過程及數個泵之協調均由空氣分配器來控制。吸泥、排泥兩過程之時間分配稱為吸排配比。一組泵輪流完成一次吸、排過程，即為一個配氣週期。為求提高氣力泵效率，泵體吸泥應儘量滿缸，排泥要連續。同時，各泵體要協調其運轉，儘量縮短其週期。空氣分配器分為機械與電磁分配器兩大類。機械空氣分配器應用較早，依固定之吸排比及配氣週期運轉。電磁分配器之開發年代較遲，具有檢測棒自動依情況控制配氣工作循環，因此無固定之吸排配比及週期，泵體的容積使用效率較高。氣力泵抽泥方式有垂直開挖和水平開挖兩種。垂直開挖適於水深但施工水域狹窄之清淤工程，以及清除非黏性淤泥，如砂、砂質礫土和砂質粉土。為提高泥漿濃度，進泥口可裝置絞刀。水平開挖方式適於在廣闊水域中作業，或淤泥較密實時，例如含大量硬黏土。水平開挖時管口通常裝有鏟斗。如淤泥甚為密實，鏟斗前可配置絞刀以挖鬆淤泥。

氣力泵清淤具有機械磨損小（無與泥漿直接接觸之高速轉動部

件) 排泥濃度高、造價低、運轉費用小及抽泥作業不受水深限制等優點。氣力泵之工作原理參圖五，而氣力泵之垂直清淤示意圖參圖六。

圖五 氣力泵之工作原理圖

圖六 氣力泵之垂直清淤示意圖

氣力泵抽泥船於 1970 年代相繼在意大利及日本等國研發，而於 1970 年代後期陸續運用於中國大陸多座水庫。陝西寶雞峽王家崖水庫於 1976 年使用 QB-90 型氣力泵清淤成功，清淤水深為 11 公尺。甘肅永靖之鹽鍋峽水庫於 1984 年使用 150/30 型氣力泵抽泥船清淤，水深可達 35 公尺，最大排泥量為 $175 \text{ m}^3/\text{hr}$ 。隨後又相繼應用於黑龍江之鏡泊湖電廠、黃河之三門峽水庫、四川之龔嘴水庫。1986 年又應用於海拔 4,400 m（大氣壓 $5.59 \times 10^5 \text{ pa}$ ）之西藏羊卓雍湖水庫清除發電廠進水口之淤泥。

虹吸抽泥船

虹吸抽泥係利用水庫水位和輸泥管出口間水頭差所產生之管流，以攪動、吸進吸頭附近之淤泥，經輸泥管排出水庫之一種浚渫方式。其設備包括一工作船、輸泥管線及吸頭。吸頭懸吊於工作船上，以操縱其升降或移動。輸泥管通常包括水域部分之浮管及陸面部分之管線。作業時，吸頭貼近淤泥面，泥水自吸頭進入輸泥管而排出庫外。虹吸抽泥管可跨於壩體上或與水壩低水位出口相連接，參圖七；水庫虹吸清淤示意圖參圖八；而水庫虹吸清淤之出口連接圖參圖九。

圖七 虹吸抽泥管跨於壩體上或與水壩低水位出口相連接示意圖

圖八 水庫虹吸清淤示意圖

為提高泥水濃度，輸泥管之吸頭可配置攪泥設備以提高泥水濃度。按攪泥方式，可分為：噴嘴沖泥吸頭—利用高壓力水泵將水噴沖泥面，形成高濃度泥漿；絞刀削泥吸頭—利用電動機帶動吸頭上之絞刀轉動削泥，使成泥漿；輪式削泥吸頭—利用虹吸管流吸動吸頭周邊之輪子，轉動削泥；水力絞刀削泥吸頭—
在吸頭進口管內裝設類似水輪機之轉子，將轉子之主軸沿伸至吸頭出口，並於其上裝以絞刀；耕刮噴吸式吸頭—利用水庫岸上之捲揚機、牽引噴頭、噴頭上附有耕犁、側面板、固定刮泥板、活動導流板和噴嘴等部件；自吸式吸頭未附輔助部件，只依靠虹吸管流之吸力來吸泥。以上各式吸頭中，自吸式吸頭只適用於淤泥未壓結之新建水庫；絞刀削泥及耕刮吸式吸頭適於水深在 1~8 公尺之水庫；輪式與水力絞刀削泥吸頭較適於迴水短、落差大之

水庫；噴水沖泥吸頭適於水深範圍較大之水庫。

虹吸抽泥首於 1892 年 Jandin 用以清除阿爾及利亞之 Djidiouia 水庫淤泥 (Brown, 1944), 在 1892~1894 年期間共清除 140 萬立方公尺之淤積物。該虹吸抽泥設施包括一條直徑 61cm 之軟管由埧底穿至下游。軟管吸頭可在 1.6 公里半徑內移動，虹吸流量約 1.53cms。

虹吸抽泥在台灣之應用僅曾於 1950 年間在台灣尖山埧水庫試驗過 (吳建民, 1991), 結果顯示只有局部性之浚渫效果。而在中國大陸於 1975 年引入虹吸抽泥方法，並於 1976 年首次應用於山西榆次之田家灣水庫，隨後推廣至山西、陝西、甘肅、青海、寧夏等十餘座水庫 (張天存, 1995; 陝西省水利及水土保持廳, 1989; 范家驊, 1985; 戴繼嵐, 1980; 戴定忠, 1991)。田家灣水庫虹吸抽泥所用之輸泥管，其吸頭配有犁刀及高壓水槍，另一端則經由閥箱 (Valve chamber) 連接大埧底孔。水庫內輸泥管長 230 公尺，為直徑 55 cm 之鋼管，以橡皮輪胎接合而成。總水頭為 17.7 公尺，於 1977~1978 年間，共運轉 695 小時，清除 32 萬立方公尺之淤泥。虹吸管流之平均流量為 $460 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，含砂量約 15.6% (相當於 $414 \text{ kg}/\text{m}^3$)。陝西省游河水庫自 1978 年實施虹吸浚渫，其作業水頭約 12 公尺，有效浚渫半徑為 100 公尺。到 1986 年止，共運

轉 449 天，清除 42 萬噸之淤泥。虹吸流之平均含砂量為 $54\text{kg}/\text{m}^3$ ，最高時曾達 $339\text{kg}/\text{m}^3$ 。甘肅省靜寧縣北岔集水庫於 1984 年夏灌期間採用虹吸抽泥，配合夏灌用水，連續運轉 392.5 小時。平均每小時抽泥 550 噸。虹吸管流之平均含砂量為 $484\text{kg}/\text{m}^3$ 。大陸地區採用虹吸抽泥方式的水庫情況參表四。

水庫特徵值	水庫名稱	田家灣	小華山	游 河	浹 河	桃樹坡	北岔集
	項目	山西榆次	陝西華縣	陝西渭南	陝西臨潼	陝西鳳翔	甘肅靜寧
	壩址	山西榆次	陝西華縣	陝西渭南	陝西臨潼	陝西鳳翔	甘肅靜寧
	壩高 (m)	29.5	33	32	35	32.3	15
	總庫容 (10^4m^3)	942.5	176.6	2450	394	154	275
	多年平均來水量 (10^4m^3)	395.0	250	3360	460	131.4	108.6
	多年平均來砂量 (10^4t)	32.0	5.0	65	45	7.3	16.3
	多年平均含砂量 (kg/m^3)	82.0	20	19.3	87.5	55.6	150
	投產時間 (年)	1960	1959	1959	1969	1959	1972
	統計時間 (年)	1978	1978	1978	1978	1982	1978
	運用時間 (年)	18	19	19	9	23	6
	總淤積量 (10^4t)	400	52.5	898.5	310	78.2	52.8
	年平均淤積量 (10^4t)	22	2.76	47.3	34.4	3.4	8.8
	洩降建築物形式	臥管	轉斗門	放水塔	臥管	臥管	底孔
	洩降流量 (cms)	2.5	5.0	5.5	2.0	-	10
虹吸清淤的	虹吸清淤開始時間 (年)	1975	1976	1976	1977	1978	1977
	工作水頭 (m)	5.5 8.8	8 20.8	9 14	5.0 10	6 8	6 14
	排砂管徑 (m)	0.55	0.3	0.5	0.3	0.3	0.41

管道排砂流量 (cms)	1.2	0.3	0.72	0.3	0.25	0.23~0.45
吸頭型式	吹水沖泥	吹水沖泥	攪刀	攪刀	吹水沖泥	耕刮吹吸式
庫內水深度 (m)	3.0	12.8 2.7	6 8	2 8	2 6	1.5 5.0
排出平均含砂量(kg/m ³)	-	年平均 136 163	-	-	87.7	484
排出最大含砂量(kg/m ³)	480	720	581.5	1080	50.5	1143
排砂的利用	引砂入田	引砂入田	引砂入田	引砂入田	引砂入田	引砂入田 及填溝
出口泥砂組成 d ₅₀ (mm)	0.007	0.024 0.004	0.015 0.029	-	-	0.0056 0.0096

表四 中國大陸地區採用虹吸抽泥方式的水庫情況

虹吸抽泥具有耗能低與不大幅影響水庫運轉之優點。其有效浚渫區則受到水位落差大小所限制。因為隨著輸泥管長度之增加，水頭損失也相應增大，排泥效率隨之降低。就通常情況而言，虹吸抽泥較適於中小型水庫或壩前庫區細粒淤泥之浚渫作業。

3 . 水力排砂清淤

水力排砂清淤係在適當時機開啟水庫之洩水結構物，利用水流挾砂的能力將已沈積在庫底或流入庫中的泥砂排至下游河道的一種水庫清淤方法，水力排砂清淤示意圖參圖十。依其運轉特性，水力排砂又可分為洩降排砂、洩洪排砂、空庫排砂、異重流排砂及蓄清排渾等方式。

圖十 水力排砂清淤示意圖

洩降排砂

洩降排砂為利用洩降水庫儲水過程中所形成之水流沖刷力量，以攪揚水庫之淤積物，使隨洩放水流出庫外之一種清淤方式。為了提高攪揚庫泥之效果，洩降排砂必須利用有充分洩流能力之底孔或排砂道來進行，以擴展淤積面上水力沖刷之有效範圍。同時，也需要適當之水庫地形，以束縮流場，維持較高之底層流速。由

於這些限制，洩降排砂作業之初期時段，因水庫水位較高水深大，流速易於擴散，有效沖刷範圍通常只限於底孔附近。在水位逐漸下降到相當程度後，沖刷範圍才能明顯的向上游延伸。但此時若無上游來水配合，則將因水庫儲水已洩放將盡而無法持續進行沖刷排砂作業。

洩降排砂並非要將水庫洩空方才停止。此一排砂方式通常可視為洩洪或空庫排砂之前奏階段。如僅依賴儲水實施，其排砂量有限。同時因洩放大量儲水，對其後之水庫供水功能可能形成負面影響。對於無底孔或排砂道之水庫，如單以溢洪道等設施來進行洩降排砂，將因無法在淤積面形成沖刷流速，其排砂效果必然甚微。

洩洪排砂

洩洪排砂為在洪水時段，開啟洩流設施洩放水庫儲水以降低水位，使來洪在沒有壅水之情況下，維持其流速，將所挾帶之泥砂，穿過水庫，排入下游河道。此種排砂方式，也能將部分庫內前期淤積沖刷出庫。洩洪排砂運用之基礎為水庫之來砂主要集中於洪水時段，如能避免洪水所挾帶泥砂發生落淤，則水庫淤積量可大為減少。運用時，通常在洪水抵達之前，即先開啟閘門，將水庫水位降低到適當程度，避免洪峰抵達時，因無法及時洩流而形成壅水。洩洪排砂必須有充分洩洪能力之底孔與適當水庫地形相配

合。由於洪水時不能蓄水，因此在規劃此種排砂方式時，須考慮洪水過後是否仍有足夠之逕流來蓄水，以維持水庫之供水功能。

空庫排砂

空庫排砂為將水庫洩空後，不予以蓄水，繼續以逕流進行沖刷排砂作業，空庫排砂之基本條件必需備有大而低之洩水結構，並需有足夠之水源。基此方式，空庫排砂之效果包括洩空水庫過程中之排砂量與空庫後之逕流排砂量。水庫剛洩空時，淤積物斜地因滑坍和溯源沖刷而形成高含砂量之泥流。通常淤積物之厚度愈大、比重愈小（新淤積物）、粒徑愈細，滑坍的範圍愈廣、數量愈大，所形成泥流之流量愈大、持續時間也愈長。此一泥流之形成為局部性質，其排砂效果依淤積物之物理與力學特性。淤積厚度以及洩流排砂底孔之規模而定，與水庫之大小地形無關。因此對於淤積厚之小水庫，此一泥流排砂對恢復庫容之作用較大，對於大中型水庫，其作用有限。水庫洩空後之逕流排砂效率隨逕流之大小而異。在水庫洩空過程之中後時段，庫底通常會形成一主槽。由於主槽之輸砂能力與流量的 2~3 次方成正比關係，因此低流量基流之沖刷排砂量小，對恢復庫容效果不大。大洪水時，若水庫洩流能力不足，則將發生壅水，水流沖刷力不強，甚至部份來砂在庫內淤落。中小洪水或高基流（相對於水庫洩流能力而

言)，可在不壅水之情況下，以較大之流速來沖刷淤泥，對恢復庫容最為有效。

空庫排砂可採多年一次實施之方式，達到長時期內水庫之沖淤平衡。由於需維持一持續之空庫時段。可能嚴重影響水庫之洪水功能，因此，並非每一水庫均能適用。

中國大陸運用空庫排砂方式清淤可以恆山與南秦兩座水庫為典型代表。恆山水庫位於山西渾源縣之唐峪河上，為一峽谷型水庫，原始庫容為 $13.3 \times 10^6 \text{m}^3$ 。設置有一高於原河床 14.5 公尺而寬高各為 7 公尺與 9 公尺之洩洪洞，洩流能力為 1,260cms。另有一高於原河床 2.6 公尺，直徑為 1 公尺之底孔，其洩流能力為 17cms。恆山水庫於 1966 年開始運轉，到 1973 年已損失 $3.19 \times 10^6 \text{m}^3$ 之庫容。為維持庫容，該水庫分別於 1974、1979 及 1982 年實施空庫排砂。1974 年之排砂作業共空庫 53 天，共清除 102 萬 m^3 之淤泥，平均耗水率為 $2.63 \text{m}^3/\text{t}$ ；1979 年共空庫 52 天，清除 125 萬 m^3 之淤泥，平均耗水率為 $9.30 \text{m}^3/\text{t}$ ；1982 年共空庫 56 天，排砂 142 萬 m^3 ，平均耗水率為 $5.65 \text{m}^3/\text{t}$ 。採用此一方式後，部份庫容得以恢復，估計約有 82% 之庫容可長期保持。南秦水庫位於陝西商州之南秦河上。水庫於 1976 年開始蓄水，原始庫容為 1,005 萬 m^3 ，為一峽谷型水庫。水庫具有一排砂洞，直徑為 3 公尺，平均流量

為 14cms，最大洩流能力為 110cms。水庫運轉後只依賴異重流排砂，到 1983 年止水庫淤積量已佔有效庫容之 52.2%。為了恢復庫容，於 1984 年汛末實施第一次空庫排砂，連續進行 4 天，共清除 $1 \times 10^6 \text{m}^3$ 之淤泥。以後又於 1993 年 3 月 1994 年 10 月進行第二次空庫排砂，歷時 600 天，共清除 118.1 萬 m^3 之淤泥。

異重流排砂 (Density Current Discharging)

泥砂隨水流進入水庫後，當密度福祿數 (Densimetric Froude Number) 小於約 0.6 時，含砂之渾水就會潛入清水下層形成異重流沿庫底向前流動，若放水口之位置相當，異重流至壩前時即可開啟放水口，不但達到洩洪之目的，亦可兼俱排砂功能，異重流在水庫中之運動過程如圖十一。

圖十一 異重流在水庫中之泥砂運動過程示意圖

異重流排砂為利用洩流孔將潛流至大壩前之高含砂量渾水排出水庫之一種清淤方式。異重流發生時，渾水之上層為較清之原本水庫儲水，兩者之間形成一界面。異重流之形成條件為修正福祿數 $F_r' (= V / \sqrt{rgh/r'})$ 須小於 0.6。上式中， v 與 h 分別為水庫斷面之平均流速與水深， g 為重力加速度， r' 為渾水比重， r 為清水與渾水比重之差值。從上述條件來看，渾水含砂量愈大、流速愈小、水深愈大，便愈容易形成異重流。異重流之持續進行須依賴入庫渾水不斷的補充。入庫渾水一旦停止，則庫內之異重流將很快停止運移，就地消失（亦即擴散入清水層）。異重流抵達壩前時，須以底孔排渾水出庫，異重流之爬高能力十分有限。

異重流排砂於 1950 年代即已應用於阿爾及利亞之 Iril Emda 及突尼西亞之 Nebeur 水庫（范家驊，1985）。Iril Emda 水庫於 1953 年完工，壩高 61 公尺，具有 $150 \times 10^6 \text{m}^3$ 之庫容。大壩設有 8 組直徑 40cm 之閘門以進行異重流排砂。閘門之底檻高於原河床約 8 公尺。該水庫於 1953—1958 年間，以異重流排砂方式共排出 $10.433 \times 10^6 \text{m}^3$ 之來砂。此期間內個別年度之排砂比（亦即排砂量與來砂量之比值）介於 0.25—0.60 之間。

突尼西亞之 Nebeur 水庫於 1954 年完工，壩高 72 公尺，具有 200

$\times 10^6 \text{m}^3$ 之庫容。大壩設有兩組洩流能力 12.5cms 及一組洩流能力 1cms 之底孔以用來進行異重流排砂。在 1954—1980 年期間，該水庫以此方式共排出來砂 90.7×10^6 噸，平均排砂比介於 0.59—0.64 之間。

中國大陸早在 1950—1960 年代就曾在官廳及三門峽水庫進行異重流形成與排砂之觀測，其後並推廣應用到其他一些水庫。其觀測與運用情形如下：

官廳水庫位於北京永定河上，於 1953 年開始滯洪，1955 年開始蓄水。該水庫壩高 45 公尺，庫容 $2.27 \times 10^9 \text{m}^3$ 。根據 1954—1956 年間 7 場洪水之觀測資料，一場洪水中異重流之排砂比介於 0.2—0.34 之間（范家驊，1985）。由於多數情況下（基流和洪峰含砂量不大時），來水並不形成異重流，因此就全年而言，異重流排砂比遠低於上述數值。以 1956—1957 兩年期間為例，其平均排砂比僅為 0.083。

黃河上之三門峽水庫在設計時採用異重流排砂方式來維持庫容，預計 35% 之入庫泥砂可以依此方式排出水庫。該水庫於 1960 年 9 月開始蓄水。依據 1960 年至 1964 年期間之實測資料，異重流排砂量僅佔此一時期入庫泥砂量之 25.7%（龍毓騫等，1979）。在 1961 年內汛期七場洪水之實測資料更顯示，每一場洪水之異

重流排砂比僅介於 1.2% 21%之間 (范家驊, 1985)。由於設計採用之異重流排砂比過高及其他因素, 水庫運轉後即遭受嚴重之泥砂淤積, 並被迫於 1965 年起改建洩流設施, 增加低水位時之洩流能力。在此基礎上, 改行蓄清排渾運轉方式, 在汛期維持低水位進行洩洪排砂, 非汛期則蓄水興利, 水庫泥砂淤積問題因之得以控制。

陝西渭河上之馮家山水庫在設計時即已考應以異重流排砂方式進行水庫清淤 (范家驊, 1985)。該水庫於 1974 年完工, 具有 $398 \times 10^6 \text{m}^3$ 之庫容。水庫設有排砂孔, 並於大壩兩側之河岸構築排洪隧道以為洩洪排砂之用。該水庫具有對異重流排砂有利條件, 包括陡坡河谷型庫區、細粒來砂組成、迴水短以及設有底孔等。在 1976 1980 年期間, 共有 14 場洪水之實測異重流排砂資料。這些資料顯示一場洪水之異重流排砂比介於 23% 65%。

陝西之南秦水庫與山西之恆山水庫除了每隔數年實施空庫排砂外, 並於其間以異重流排砂方式清淤。南秦水庫底床縱比降大, 異重流一旦形成很容易到達壩前, 有利於異重流清淤效果。依據實測資料, 該水庫於 1977 1982 年期間之入庫懸移質含砂量為 2.43×10^6 噸, 其中有 1.556×10^6 噸以異重流排出庫外, 平均排砂比為 0.64 (陳景梁, 1987)。山西恆山水庫亦為一底床縱比降甚陡

之峽谷型水庫。根據 1972 1984 年期間 10 場異重流排砂之實測資料，個別洪水之排砂比介於 16.1% 101% 之間（註：部份前期懸砂亦被排出庫外），至於長期間之平均值（亦即前後兩次空庫排砂之期間）則介於 36.6% 63% 之間（王文江，1995）。

異重流排砂可以在蓄水運轉之情況下實施，因此，只要來水充裕，將不會影響水庫之興利功能。但因異動流並非每次洪水均會發生，因此只能排出部份洪水之來砂。為提高排砂效率，可設置一監測系統，於異重流發生時通知水庫運轉人員，適時啟開底孔，將抵壩前之渾水排出水庫。另一方面，異重流所挾帶者均為細粒之懸移質，入庫之推移質將全部淤落於水庫內，無法以異重流排砂方式清出庫外，對已經淤落於水庫內之泥砂，亦無法有效的沖刷出庫。基此，異重流排砂方式應視為一種輔助性之清淤方式。一般水庫無法僅依靠此一排砂方式來維持長期有效庫容。

蓄清排渾

蓄清排渾為經由水庫運轉策略之運用以減少水庫泥砂淤積之一種減淤、清淤方式。其運用原理為在來水含砂量高之汛期，開啟閘門洩流，維持低水位運轉，以避免洪水時因水庫壅水而致來砂發生落淤。同時也可因庫內之流速大，將前期之淤積物沖刷出庫。汛末逕流含砂量較低時，將閘門關閉，開始蓄水，作為水庫

興利之用。

蓄清排渾為兼顧水庫興利功能與排砂維持庫容之一種折衷運轉方式。水庫要採用此一方式，必須具備下列幾項條件：

水庫上游來砂比來水更集中於汛期，且汛後仍有足夠之來水可供調蓄興利。如汛期內來砂峰期與來水峰期互相錯開，而且偏早，則更有利於此方式之運用。

水庫具有充分之洩流能力，使在洪水時能維持壩前低水位，以避免在水庫內形成壅水。

為峽谷型水庫。水力排砂（包括汛期之洩洪排砂）須要狹窄之水庫地形相配合，才能有效的束縮庫內水流，維持充分之流速，以防止來砂淤落，並沖刷庫內之輸砂主槽。

水庫底床縱坡較大，以形成較大之輸砂能力。

蓄清排渾已應用於中國大陸許多水庫，包括黃河之三門峽水庫。

將來長江三峽水庫完工後，亦將採用此一運轉方式。黃河之三門

峽水庫，於 1960 年開始運轉後，即遭受嚴重泥砂淤積，1960

1964 年期間之年平均淤積率達 11.15 億 m^3 。為提高排砂效果，

水庫於 1965 1971 年期間進行兩次改建，以增大其洩流能力。

自 1973 年起，三門峽開始以蓄清排渾方式運轉 根據 1973 1990

年期間之實測資料，此期間內每年汛期之沖刷量為 0.35 億 m^3 ，

非汛期之淤積量為 0.79 億 m^3 ，平均年淤積量為 0.44 億 m^3 ，基本上已保持沖淤平衡狀況（王文江，1995）。

水庫上游砂源控制方式

就水庫容積之維護而言，上游砂源係指水庫上游迴水區末端以上所有之可能來砂。依其產生機理，上游來砂可能源自集水區表土之流失、蝕溝沖蝕、崩塌地及河床與岸坡之沖蝕。依其輸運機理，來砂可分為細粒之懸移質與粗粒之推移質。集水區內懸移質與推移質之來源可能有別，其在水庫內之淤積部位及淤積量也可能有異。因此，應針對來砂顆粒組成及其來源，運用適當之治理措施，以達到控制砂源，減少泥砂流入水庫之目的。

水庫上游泥砂量之控制為水庫防淤之治本措施，大致可經由集水區管理、集水區保育、泥砂攔截及上游導洪排砂等方法來達成：

集水區管理

集水區土壤流失為一自然現象，但其流失程度基本上反映集水區土地之使用狀況。為避免形成過度之土壤流失，應就集水區土壤地質、地形、氣候等特性，劃分適當之集水區土地適宜性使用分區管制，並嚴格予以管理、執行。

集水區保育措施

集水區受到人為開發利用後，其土壤流失量將對應升高。其流失

型態包括表土流失、指蝕沖蝕、蝕溝沖刷、崩塌、林地土壤流失、道路土壤流失、河道沖蝕等。為求減輕人為開發之衝擊，應就集水區內土壤流失之本質，採取適當之水土保持保育措施。

攔砂壩泥砂攔截

集水區所產生之泥砂可於水庫之上游河道設置攔砂壩予以攔截。由於攔砂壩之庫容通常不大，無法對懸移質有效的發生沈砂作用，因此所攔截者以推移質為主。為求有效攔砂，可依估計之推移質年來砂量設置單獨、或系列攔砂壩，並於每年汛前進行浚渫，以保持其攔砂庫容。

上游導洪排砂

水庫之來砂大多集中於汛期內之洪水時段，因此對有些小型水庫可利用天然有利地形，在水庫迴水端上游，修建攔洪壩及排洪渠，使含砂量高之洪水不經水庫直接排入下游河道，以避免洪水入庫增加淤積。由於其攔洪、排洪、排砂結構物成本高，這種方法只適於河道陡、洪水流量不大、地形適宜之小水庫。

五、水庫清淤方式的適用性

本報告依台灣一般水庫之相關特性探討各清淤方式之適用性如下：

陸面機械開挖

陸面機械開挖適用於許多台灣水庫。此一方式只要庫底露出水面且強度足以承受機具運移、天候良好（無雨）及有通達道路即可實施。台灣年降雨量多集中於濕季，乾季降雨少、水庫水位低，為陸面機械開挖提供一有利之運用條件。在大規模作業下，此清淤方式一天浚渫量可高達上萬立方公尺，具有高浚渫效率之優點。陸面機械開挖最適用於中小型水庫，因此乾季時大部分庫區常露出水面，已採用過之水庫包括大埔、明德、白河、德元埤、虎頭埤、鹽水埤及石岡壩等。至於大型水庫，除非在異常乾旱年度，否則中下游段庫區不至於露出水面，以此方式實施大規模清淤之機會較少。

水力抽泥

水力抽泥通常需配置輸泥管以將泥漿輸送到庫外棄土區或沈砂池。由於利用吸頭之負壓以吸進泥砂，因此較適於細粒淤泥之浚渫。作業時水庫需有適當之水深相配合，以利抽泥船靈活移動。水力抽泥可在水庫下正常運轉之情況下機動清除各部位淤砂，對以發電或供水為主要功能之水庫尤其有利。水力抽泥適用於大多數臺灣之水庫：大中型水庫可用於水深較大之中下游段庫區，小型水庫可用於下游段庫區。目前已採用此方式之水庫包括石門及白

河。水力抽泥在應用上之一重要限制因素為如何處理沈砂池內之淤泥。由於其組成以細泥為主，且常含雜質，因此目前尚無再利用之經濟價值。採用水力抽泥時，應一併規劃浚渫物之處理方法。

機械挖泥

機械挖泥適於清除粗粒淤砂。此方式可在水庫正常運轉之情況下，機動清除各部位淤砂，對以發電或供水為主之高水位運轉水庫為一有利之運用條件。機械挖泥對臺灣之水庫適用性取決於淤積物是否為粗砂。臺灣許多水庫在運轉多年後，因庫區及上游河道發生溯源淤積，庫床縱比降變緩，只有細粒來砂才能運移到下游段庫區。因此，機械挖泥較適用於臺灣大中型水庫上游段庫區或採低水位運轉之小型水庫（例如攔河堰）下游段庫區。石門水庫多年來即採用此方式在上游段庫區清淤。機械挖泥之浚渫物通常可做為建築骨材使用。

氣力泵抽泥

氣力泵抽泥利用靜水壓力將泥漿吸入泵體，因此可節省部分能源之耗費，但也因此須有充分作業水深相配合，浚渫對象以細粒淤泥為宜。氣力泵抽泥也具有不影響水庫正常運轉之優點。為避免輸泥管過長耗費太多能源，氣力泵抽泥以局部清淤為主。一般說來，氣力泵抽泥適用於臺灣大多數水庫，但因受輸泥管線長度所

限制（通常短於 400 公尺），僅適於做局部性清淤之用，例如清除取水口附近之淤積物。因此，如需同時考慮實施大範圍清淤，以使用水力抽泥較有彈性。

虹吸抽泥

虹吸抽泥需要有充分之水頭差以維持輸泥管及吸頭流速，因此適於在水深較大之下游段庫區實施，浚渫對象也以細粒淤泥為宜。

虹吸抽泥具有不耗能源及不影響水庫正常運轉之優點。為避免輸泥管過長耗費太多水頭，虹吸抽泥以局部清淤為主，輸泥管線通常短於 400 公尺。一般說來，虹吸抽泥可適用於臺灣大多數水庫壩前庫區之局部清淤。如水庫需同時考慮大範圍清淤，則以使用水力抽泥較有彈性。

洩降排砂

洩降排砂為一種水力排砂清淤方式，應用條件包括峽谷型庫區、細粒淤砂及充分洩流能力之底孔。洩降排砂為在不完全性的降低水庫水位情況下洩流，其運用乃為了兼顧清淤與蓄水之要求，清淤效果通常較洩洪或空庫排砂為低。臺灣之水庫中屬於峽谷型或近似峽谷型者包括大埔、翡翠、德基、谷關、石岡、霧社、鏡面、尖山埤等。其中大埔、石岡壩、鏡面、尖山埤四座水庫設有洩流底孔（排砂道或排砂底孔）。從實際運用而言，除尖山埤之排砂孔

洩流能力小(設計流量為 9.28cms)而不適用外,其他三座水庫均可採用,但其沖刷效果將僅限於洩流口前局部之區域。

洩洪排砂

洩洪排砂之應用也需具備上述水力排砂之基本條件,但底孔洩流能力需足以在洩洪時不形成壅水。臺灣之水庫中只有石岡壩具有長幅度低堰溢洪道(18孔,淨寬共 230.4 公尺),能維持在低水位下洩洪排砂。在實際運用上,洩洪排砂需有適當之逕流條件相配合方能兼顧水庫之調蓄功能。臺灣絕大多數水庫依賴洪水逕流來蓄水興利,因此實施洩洪排砂需承擔排砂後年內再無來洪可蓄水之高度風險(王文江,1995)石岡壩之庫容小(民國 83 年時為 1,565,000 立方公尺)而逕流量大(年平均值為 2,307,841,000 立方公尺),大多數之逕流均溢入下游河道(約為年逕流量之 76.1%),因此具備洩洪排砂之逕流條件。另外,鏡面水庫之排砂道設計流量為 140cms,而集水區面積 2.73 平方公里,因此在小洪水時應能有效應用。臺灣其他水庫既無充分洩流能力之底孔,也無適當之逕流條件,難以有效實施洩洪排砂。

空庫排砂

空庫排砂也需具備上述水力排砂之基本條件,但底孔洩流能力可較低。空庫排砂能於洩空過程中在壩前形成一沖刷漏斗,並於隨

後之沖刷過程中在庫床沖刷出一主槽。空庫排砂對峽谷型水庫較為有效，因為沖刷主槽常可佔庫寬之相當部分，且因原始河床通常較陡，所形成主槽亦相對較陡，沖刷能力相對較大。空庫排砂可依水庫淤積情況，每年或多年實施一次。空庫排砂為暫時犧牲蓄水功能以求恢復庫容之一種清淤措施，因此在實際運用時，需考慮對水庫設計功能之衝擊。亦即，空庫排砂期間應選擇在非供水期，排砂後也需有足夠逕流來蓄水。大埔、石岡壩、鏡面、尖山埤等水庫均設有洩流底孔（排砂道），因此可採用此一方式清淤。其中大埔與尖山埤以供應灌溉用水為主，可配合非灌溉期實施；鏡面水庫負責供應公共用水，空庫排砂將使供水中斷，因此在作業前需有因應措施。石岡壩之來水因有馬鞍電廠後池之調節，空庫排砂之運用較具彈性，但因淤砂顆粒粗，效果有限。

異重流排砂

異重流排砂只能排出部分懸移質來砂，無法排除推移質，對於現有庫底淤泥亦無清除效力。因此，異重流排砂應視為一種輔助性清淤措施，須配合其他清淤方式來維持長期可用庫容。台灣尚未曾對水庫異重流之形成進行過現場觀測，因此無法確定其排砂效果。再者，台灣水庫甚少有底孔之設置以供異重流排砂。

蓄清排渾

蓄清排渾運轉策略包括汛期之洩洪排砂及非汛期之調蓄逕流兩時段。由於要求水庫不在汛期（或洪水時）蓄水，因此汛後是否有充裕之逕流可供水庫調蓄與利為運用此一清淤方式之最大限制條件。臺灣除了大埔水庫及石岡壩因庫容小、逕流量大，或可適用外，其他絕大多數之水庫均高度依賴汛期逕流來蓄水，因此蓄清排渾對臺灣水庫之適用性不大（王文江，1996）。

由上述討論可知，臺灣大部分水庫以陸面機械開挖及機械浚渫實施清淤最為實際可行；水力排砂只適用於極少數幾座水庫。機械浚渫就耗能率而言，以虹吸抽泥耗能最低，氣力泵抽泥次之，水力抽泥與機械挖泥最大；就作業水深要求而言，虹吸抽泥要求最高，氣力泵抽泥次之，水力抽泥與機械挖泥最低；就運轉限制條件而言，水力抽泥與機械挖泥最具彈性（亦即限制條件最低），氣力泵抽泥次之，虹吸抽泥又次之。台灣在規劃機械浚渫時，應就水庫本身之具體條件來選擇最適當之清淤方式，包括水庫水位季節性之變化、泥砂淤積部位、淤砂粒徑、輸泥管線長度（亦即沈砂池與浚渫區之距離）等因素。

水庫清淤方式之適用性，概要整理如表五。

清淤方式	作業方法	適用性	配合條件
------	------	-----	------

機械清淤	陸面機械開挖	以挖土機具（挖溝機、鏟斗機、抓斗機）開挖露出水面之淤積，以傾卸車運輸。	對於豐枯水期水位差較大之水庫，利用枯水期進行陸面開挖，由於需要低水位配合，故於中上游庫區實施之機會較多，適於乾硬狀態下各類粒徑之淤泥。淤積嚴重之水庫，可考慮空庫後進行陸面機械開挖。	枯水季部分庫底長期露出水面。 枯水季降雨日少。 須有堆積場配合作業。
	機械抽泥	以抽泥船或抽泥設備，利用水力、壓縮空氣或虹吸將淤泥抽出後，以輸泥管送至沈砂池。	適於清除水下細粒淤泥(例如下游庫區)，需配置沈砂池，為減低水頭損失及能源耗費，輸泥管不宜過長，水力抽泥長度較不受限制，壓縮空氣或虹吸抽泥之輸泥管長多在 400 公尺以下。	長期淹在水面下庫區。 細顆粒淤泥。 不影響水庫之正常運轉。 需配置淤砂池。
	機械挖泥	利用挖泥船之泥斗將水面下淤泥挖出水面後，直接卸泥於岸上或以駁船送至岸邊。	因泥斗提升過程中細泥易擴散流失，故機械挖泥較適於粗粒淤砂，亦即適合在大中型水庫上游庫區或採低水位運轉之小型水庫(如攔河堰)下游庫區等粗砂淤積地區。	長期淹在水面下之庫區(中上游水深較淺庫區) 粗顆粒淤砂。 不影響水庫之正常運轉。 需配合堆積場。
水力清淤	洩降、洩洪及空庫排砂	開啟洩流底孔大量洩水，形成沖刷流速清除庫底淤泥。	適合具有充分洩流能力底孔之峽谷型水庫，利用水流清除細粒淤泥，但耗費大量來水與儲水，需有豐沛逕流回蓄水庫，下游河道須有充分之行洪輸砂能力。	只適用於峽谷型水庫。 較適於細顆粒淤泥。 需有充分洩流能力之洩流設施。 不影響水庫之正常運轉。 下游河道須有充分之輸洪及輸砂能力。
	異重流排砂	於發生異重流時，適時開啟洩流底孔，將流抵壩前之渾水排出。	需有洩流底孔，需有異重流發生之條件(含沙量大流速小水深大時易形成異重流，逕流入庫後在清水層下潛流至壩前)，另外異重流非每次洪水均會發生，且所挾帶者均為細粒之懸移質，無法排除推移質及已淤落之泥砂，故僅能視為一種輔助之清淤方式，耗水量較其他水力清淤方式為低。	無
	蓄清排渾	汛期洩洪排砂，非汛期調蓄逕流。	需上游來砂比來水更集中於汛期，且汛後有足夠之來水可供調蓄，需為峽谷型水庫及具較大縱坡之水庫底床以利輸砂，需有充分洩流能力之底孔，以避免造成壅水而致來砂落淤。	無

表五 各種水庫清淤方式之適用性

六、各種水庫清淤方式之成本

各種水庫清淤方式之成本參如表六。

清淤方式	清淤單位成本 元/M ³
陸面機械開挖	48-377
抽水排砂	5-300
水力浚渫	37-264
空庫排砂	1

表六 台灣地區水庫清淤之概略單位成本(1995 年)

七、水庫浚渫之影響要素

水庫浚渫之影響要素參表七。

浚渫方式	水庫水位	逕流變化	來砂變化	來砂粒徑	淤砂粒徑	水庫地形	洩流設施	浚渫部位	水庫功能
陸面機械開挖	大	大			小				小
水力抽泥	小	中			大			中	小
機械挖泥	小	小			大			中	
氣力泵抽泥	大	中			大			大	小
虹吸抽泥	大	中			大			大	小
洩降排砂	大	大	大	大	大	大	大	大	大
洩洪排砂	大	大	大	大	中	大	大	中	大
空庫排砂	大	大	小	小	大	大	大	中	大
異重流排砂	小	小	大	大		大	大		中
蓄清排渾	大	大	大	大	中	大	大	中	大

附註：大：影響程度大。

中：中程度之影響

小：低程度之影響

空白；無影響或互無關聯

表七 水庫浚渫之影響要素

肆、水庫淤泥處理及再利用

水庫實施清淤應妥善規劃浚渫物之處理，以避免發生環境衝擊，並降低處理成本。規劃浚渫物之處理應考慮棄土之輸送、棄土場之取得與維護、環境生態衝擊及浚渫物之再利用價值等相關要素。

一、水庫淤泥之運送

水庫淤泥之運送方式大抵依浚渫方法而定，從水庫將淤泥運送到堆置場有管線運輸、輸送帶、陸運等三種方式。

管線運輸（適用於水力浚渫）

以挖泥船抽泥。

必須在淤泥呈流體狀態下於管線中加壓輸送，排泥濃度可達 20 %以上。

水量浪費。

輸送帶輸送（適用於機械開挖及機械浚渫）

淤泥含水量不宜太高，最好呈乾燥狀態。

需密閉加蓋以防灰塵飛散污染環境。

卡車陸運（適用於機械開挖機械浚渫）

需密閉加蓋處理以防灰塵飛散。

減低噪音振動減輕環境衝擊。

直接排入下游河道

水力排砂會直接排入下游河道，不需考慮浚渫物之輸運。

二、棄土場之取得及維護

棄土場係用來作為永久性或暫時性之浚渫物堆置場所，永久棄土場以位於水庫集水區外之鄰近適當地點為宜。棄土場依形式可分為天然谷地及沉砂池，依功能又可分為永久性及半永久性堆置場，應以地形圖及航照圖配合現地勘查後，依其適用性決定是否可用，再對土地權屬及地上物加以調查。

水庫淤泥清淤之棄土處理，應視為公共工程剩餘土石方處理之一種，其所產生土石方資源堆置處理之處理場（簡稱土資場），宜按內政部八十九年五月擬定之「營建剩餘土石方處理方案」相關規定來處理。

棄土場選定之原則

水庫清淤後淤泥堆置場之選定，以

減少工程構築費用。

減少周遭環境衝擊。

填置可增加國土或具有再利用價值之地點。

以半永久性或永久性設計為原則。

構造以安全為原則，要有良好排水及水土保持設施，使其符合長期需要。

陸棄以水庫下游窪地、谷地或廢河道為宜，海拋以利用現有海堤、新生地填置為宜，以具有較大填置容量，及較少工程構築費用為原則。

距離水庫不宜太遠，以縮短運輸時間、運程及運輸成本，減少對環境可能造成之不良影響。

以偏僻地區較為合適，以期減少對附近居住環境之衝擊。

填滿後具有再利用價值地點為佳，以期降低當地居民反抗，增進土地利用及降低淤泥清除成本。

沈砂池建造挖方，填土儘量平衡，一般池深以 5 公尺為限，如開挖的土方可供其他用途則可加深開挖。

沉砂池排放之清水應復歸下游河道，以免浪費水源。

各種浚渫方法之棄土場所應具備之條件及其配合設施

陸面機械開挖：除非浚渫物可直接運離做為再利用之用途，否則，應配置以永久或暫時性之棄土場。

水力、虹吸及氣力泵抽泥：通常須設置沉砂池以分離由輸泥管送來之水砂。沉砂池內之泥砂可挖出運到別處棄置或任其永久留置池內而成為永久棄土場。在不損及環境品質之情況下，輸泥管內之泥水可排入下游河道，由水流挾帶入海，或導入灌溉渠道做為農田淤灌之用。

機械挖泥：機械挖泥通常用以清除粗粒淤砂庫區。因此，浚渫物一般可做為建築骨材使用。通常情況下，此種浚渫方式只需一臨時處理場以暫時堆置浚渫物。

水力排砂：此種清淤方式將浚渫物直接排入下游河道，因此，不須要配置棄土場。

棄土場之管理

水庫浚渫物應有收容處理計畫，並應納入工程施工管理，由工程主辦機關負責督導承包廠商對於水庫浚渫物之處理，並逕送處理資料知會當地之地方政府備查。

工程主辦機關應負責自行規劃設置、審查核准、啟用經營棄土場或嚴格要求承包廠商覓妥合法收容處理場所，於工地實際產出水庫浚渫物前，取得該合法收容處理場所出具之實際土石方收容處理同意文件，並於投標文件及工程契約書中載明環保項目，如有違規棄置剩餘土石方及廢棄物者，應依契約及廢棄物清理法相關規定，嚴格執行追究責任與處分。

由工程主辦機關負責自行規劃設置核准棄土場者，該機關應依營建剩餘土石方處理方案或相關規定審查核可，於報請上級主管機關核備後依設置計畫施作使用，並副知當地縣（市）主管機關。

工程主辦機關應配合建立運送剩餘土石方憑證制度，並於承包廠商請領工程估驗款計價時查核清除機具是否至指定之合法收容處理場所。

重大公共工程之上級主管機關，於施工階段，應定期邀同直轄市、縣（市）政府建管、環保、農業、水土保持、水利單位及有關機關督導考核。

承包廠商應依工程主辦機關規定將水庫浚渫物處理紀錄，定期

逕送工程主辦機關及地方政府備查。

承包商違規棄置水庫浚渫物者，應由工程主辦機關，按合約規定扣帳、停止估驗、限期清除違規現場回復原土地使用目的與功能，移請地方環保機關依規定查處，並送地方營造業主管機關依規定處分。

棄土場設置之作業程序

棄土場規劃設置、審查核准、啟用經營之主管機關為直轄市、縣（市）政府或鄉（鎮、市）公所及公共工程主辦機關，並應視水庫浚渫物產出量，及配合土地利用之填土堆置處理計畫（例如：水面填平、低窪地填土、道路填土、河川築堤、海岸或海埔地築堤、公園造景、灘地美化等），以整體規劃設置棄土場。棄土場申請設置基地須屬低窪地、山谷地或海埔地，在平地或海埔地不宜少於一公頃且容納剩餘土石方不宜少於一萬立方公尺，在山坡地不宜少於三公頃且容納剩餘土石方不宜少於三萬立方公尺。民間回填、土地改良、須收取土石方、整地填高之工程自行設置場所，不在此限。

申請設置棄土場應由申請人檢附申請書表，土地使用編定文件，設置計畫書圖概要，向直轄市、縣（市）政府工務（建設）局、鄉（鎮、市）公所或公共工程主辦機關提出申請，經會同相關機關單位初勘審查程序，於三十日內由該政府、公所、機關首長認可。如經審查認定須由申請人於一定期間準備第二階

段複審相關資料，向同一受理單位經會同有關單位或委員會複勘審查，於一個月內綜合彙整審查意見，送請各該政府、公所、機關首長核准發給設置許可。如須依規定應實施山坡地開發、環境影響評估者，其審查得與該政府機關之審查作業併行辦理簡化程序。但應俟環境影響評估審查完成始得發給設置許可，如有變更計畫應依規定程序辦理。如經該政府、公所或機關同意者，得將初勘審查與複勘審查程序併案辦理。

平地（非山坡地等）之棄土場，在一定面積、容量下，以農地改良之整地方式辦理者，請縣（市）政府授權由鄉（鎮、市）公所審查核發設置許可。

地方政府、鄉（鎮、市）公所得自行審定或會同有關機關（單位）組成會勘小組，審查核准工程主辦機關及民間申請設置之棄土場，經勘驗有關必要之水土保持防災措施後，始得開放收納處理水庫浚渫物使用。

棄土場以選用公有土地為優先設置地點，由需地單位洽請該公有地管理機關同意。公有非公用土地適宜設置棄土場者，由需地機關依規定申辦撥用、借用。其屬公有公用土地者應先變更為非公用財產。

公有土地適宜設置棄土場者，由公有地管理機關會同有關機關舉辦或委託民間經營，進行土地改良。

申請設置許可內容如有涉及都市計畫變更者，得專案優先報送

都市計畫機關辦理逕為變更，其涉及非都市土地使用變更者，得依規定加速辦理變更。

設置棄土場涉及保安林地、農牧用地者，得在不影響保安林、農作之功能下，經場所主管機關會同農業主管機關同意做棄土場使用，俟一定時間完成填土整地後，回復為原先之造林、農業使用。

棄土場興辦事業計畫應包括再利用計畫，依計畫完成使用檢查核可後，得依其再利用計畫申請設置遊憩及遊樂設施、汽車教練場、停車場、文化、教育、宗教、社會福利、衛生、行政、公共設施、公用設備、低密度開發社區等使用，其須辦理用地變更者循區域計畫、都市計畫法定程序辦理。

直轄市、縣（市）政府或公共工程主辦機關不依規定期限審議土資場或棄土區者，各該上級主管機關得令其一定期限內為之；逾期仍不為者，各該上級主管機關得視實際情形依其申請，逕為辦理設置許可審議及相關經營管理事項。

棄土場不得申請設置之地區

棄土場不得申請設置地區如下。但經會同有關主管機關勘查同意者，不在此限。

重要水庫集水區、河川行水區域內。

水源水質水量保護區自來水水源取水體水平距離一定範圍內。

農業、交通、環保、軍事、水利及其他相關主管機關依法劃編

應保護、管制或禁止設置者。

地質結構不良、地層破碎、活動斷層或有滑動崩塌之虞之地區
(應檢附環境地質資料)。

棄土場設置應有之設施

於入口處豎立標示牌，標示場所核准文號、土石方種類、使用期限、範圍及管理人。

於場所周圍設有圍牆或隔離設施，並設置一定寬度綠帶或植栽圍籬予以分隔，其綠帶得保留原有林木或種植樹木。

出入口應設有清洗設施及處理污水之沈澱池。

應有防止土石方飛散以及導水、排水設施。

終止使用者，應覆蓋五十公分以上之土壤，以利植生綠化。

棄土場之獎勵措施

山坡地之民間申請設置棄土場範圍內公有土地，得申請合併開發使用，依規定辦理專案讓售。

民間棄土場屬都市計畫公共設施用地之公有土地者，依規定辦理租用。

政府機關因公務或公共設施所需設置棄土場，無妨當地都市計畫或區域計畫，依規定辦理撥用；需場地之機關因臨時性或緊急性之公務用或公共用，辦理短期之借用，並得會商場地管理機關按期連續使用。

主管機關核准得併同依其再利用計畫，申請設置遊憩及遊樂設

施、汽車教練場、停車場、文化、教育、社會福利、衛生、行政、公共設施、公用設備、低密度開發社區等使用。

主管機關得協調相關單位優先配合興闢場外道路、排水等公共設施。

農地經政府核准設置棄土場完成收容處理後仍回復農業使用者，在處理期間視為繼續作農業使用。棄土場設置應訂定處理期限，逾期未回復作農業使用或變更為非農業用地者，應補徵其地價稅，並依有關規定處罰。

棄土場使用之管理

直轄市、縣（市）政府或公共工程主辦機關訂定棄土場經營管理規定、棄土場處理作業標準，簽發處理憑證。水庫浚渫物處理資料應定期報送棄土場管理之主管機關備查，浚渫物轉運及再利用處理資料，應由棄土場經營單位逐案定期報送主管機關備查。

棄土場得作剩餘土石方處理轉運及再利用，如原許可有變更者，應依規定程序申辦變更許可。

水庫浚渫物處理後應由場所經營單位確實核發浚渫物處理之同意文件及檢核清除運送憑證及處理紀錄文件。

棄土場所經營單位違反有關規定，除依法追究外，並得公告撤銷許可。

棄土場依設置計畫處理完成並報經當地主管機關會同有關機關

勘驗合格後，發給處理完成證明文件，視同經許可之土地改良，如需變更使用得依相關法令規定辦理。

場所經營單位應定期統計浚渫物處理種類與數量，並報送直轄市、縣（市）政府、鄉（鎮、市）公所。

有關棄土場之再利用計畫經政府審查核准後，公有棄土場自再利用規劃設置經費中提撥一定額度；私有棄土場自再利用計畫營收利潤中提撥一定額度，繳交代金，供該計畫週邊相關公共設施興建及地方福利事業之用。

棄土場設置地點之規劃

台灣地區政府規劃設置及私人團體申請設置棄土場所之地點，係由內政部、台北市、高雄市及縣（市）政府及有關機關單位，經勘選審核及許可民間設置者，規劃設置棄土場分布於丘陵、平地、海岸地區。至於實際執行設置尚需由直轄市、縣（市）政府、鄉（鎮、市）公所及有關機關單位，分年擬定詳細具體計畫，自行設置啟用或鼓勵民間經營。

三、浚渫物對環境生態之衝擊

清淤作業與浚渫物處理過程可能形成環境生態衝擊，這些因素均應加以分析評估。例如：水力排砂可能導致下游河道發生過度淤積或河水過度混濁；採取棄土場棄土方式時，應考慮棄土場之穩定性以免暴雨時發生崩塌，形成土石流與環境污染；採取河道棄土方式將浚渫物釋入下游河道由洩洪挾帶入海時，應考慮是否在下流河

道形成嚴重淤積，或因含有大量重金屬或大幅增加水流濁度導至魚類死亡；採取灌渠棄土方式將浚渫物注入農田淤灌時，應考慮淤泥組成、淤灌量與時機，以避免傷及作物。

四、水庫淤泥再利用

水庫淤泥之浚渫物如果能有效再利用，不僅能解決尋取棄土場之問題，同時也可以其出售利益來補償部分浚渫費用。可能之再利用包括做為建築骨材、農田淤灌、土地改良、工業材料等用途。浚渫物之再利用價值取決於其物理、化學性質及是否有毒。

浚渫物之物理化學性質分析

一般浚渫物需進行之物理、化學性質分析項目，參表八。

浚渫物物理、化學性質分析項目	
物理性質	顆粒性質分析
	單位重與比重
	含水量
	液性限度與塑性限度
	夯實試驗
	加州載重比試驗
	沉降試驗
化學性質	三軸透水試驗
	有機物及礦物質含量
	有毒物及重金屬含量
	PH 值

表八 一般浚渫物需進行之物理、化學性質分析項目

淤泥有無毒害的判定與處理

水庫淤積係日積月累而形成，而水庫淤積之處理亦非一蹴可及，必須持續治理、維護與管理方可竟功。利用水力或機械方式浚渫之水庫淤泥必須做適當之處置，以避免造成二次公害及對環境之

衝擊。依據環保署之廢棄物清理法及其施行細則之規定，水庫淤泥之處理流程可綜合如圖十二。

圖十二 水庫浚渫淤泥之處理流程圖

水庫浚渫淤泥有無毒害的判定與處理，分述如下：

有害物質

含有害物質之淤泥經總量分析結果，須針對其不同之性質進行適度之中間處理，如下：

含汞及其化合物濃度大於每公升 260 毫克者，必須經過熱處理法回收汞。

含氰化物者，必須以氧化分解法、焚化法或濕式氧化法處理。經有害事業廢棄物認定標準所列之任一種含有毒重金屬廢棄物，必須以固化法、電解法、薄膜分離法、熱蒸發或熔煉法處理。

以上三類及經溶出試驗含有害物質者等四類淤泥，皆須經固化，使有害物質不再釋出後，做掩埋、再利用或海拋等最終處置。

無害物質

水庫之淤泥若確定不含有害物質，尚須進行有機物含量之判定。

有機淤泥

有機淤泥必須以脫水或熱處理法處理後方能做最終處置。

無機淤泥

無機淤泥必須脫水或乾燥至含水率百分之八十五以下，方能做最終處置。一般水庫淤泥皆屬不含有害物質之無機淤砂，

其處理流程如圖十三。淤砂於浚渫後，可經管線、水運或陸運方式運送至中間處理地點，一般經脫水處理後，再做不同之最終處置利用。

圖十三 水庫不含有害物質無機浚渫物之處理流程圖

3. 淤泥之固化及脫水處理

水庫浚渫後之粗砂若其強度足夠，可作為建築骨材，但細泥部分目前仍無法經濟有效利用。因此，浚渫物之處理以沉砂池內之淤泥為主要對象，一般淤泥之處理方法有固化及脫水，分述如下：

化學固化處理

此法係將淤泥處理過程中加入固化劑、皂土、水泥等化學藥劑，使淤泥加速乾燥凝固，化學固化處理之流程如圖十四。處理後可增加其抗壓強度，易於搬運，且遇水不易溶解，使不產生二次公害；但處理添加之固化劑成本高（1815~9037 元/m³），故處理費用較其他工法高。

圖十四 化學固化處理之流程圖

目前已有之固化劑種類、商業產品及固化強度與處理成本如下：

固化劑的種類

目前已有之固化劑種類詳表九。

1.石灰系列	1.PH 值偏高。 2.體積顯著增加，影響自然生態。
2.玻璃系列	對核廢料有效，硬度高。
3.石膏系列	具脫臭、脫水結晶之優點。
4.水泥系列	體積顯著增加，易受酸蝕。
5.柏油系列	二次污染，以容器盛裝。
6.Resin 系列	二次污染。
7.其他	爐渣、飛灰等添加劑。

表九 目前已有之固化劑種類

目前已有之商業化固化劑產品：如表十。

商業化固化劑產品	產品特性
1.多機能硬化劑	為一水溶性混合液體。可將硬化劑與淤泥及水泥均勻攪拌，以除去淤泥中有機質對水泥之負面影響，並加強硬化劑、淤泥及水泥三者之結合固化作用。處理後，可灌製為固化成品。處理時，水泥與硬化劑含量愈高，則抗壓強度愈大，28 天後之抗壓強度可達 289.1 kg/cm ² 。
2.SST 固化劑	為一乾式化劑，包括固化助劑及安定劑。使用時需添加水泥。其作用為促進淤泥粒子之鍵結及加強水泥之凝固而使淤泥固化。
3.田口固化劑	為一金屬元素之無機鹽複合物，含有鉀、鎂、鈉、鈣等金屬。處理淤泥時，需與水泥配合使用。其處理原理為利用固化劑在水中發生之離子反應，將附著於土粒之有機物分解所形成之高分子化合物排離土粒，使土料與水泥中之鈣離子直接反應，促成淤泥之固結。
4.NSC 固化劑	由鹼性金屬、硼族元素、碳族元素、氮族元素、鹵族元素等各種元素化而形成的液態無機性特殊固化劑。當泥土或廢棄物骨材添加 NSC 固化劑和水泥時，固化劑的元素和廢棄物中的各種元素起化合作用，相互加強吸著力促進凝結而提早固化，產生元素結合、共有結合、移位結合、各元素變化中分解、移位，使有害物成為無害化進行作用，而消除毒性的溶出。同時，對酸、鹼、紫外線、高、低溫度等，不受侵蝕，極具耐火性、耐水性和耐久性。
5.CTG 固化劑	為一乾式石膏系列化劑。處理淤泥時，係以固化劑所含之矽酸鈣或硫酸鈣所生成反應來提高陽離子之交換性，促進淤泥粒子之鍵結。固化劑中又含有碳酸鈣，具有對淤泥除臭之功能。淤泥經處理壓密後，其 28 天後之抗壓強度可達 50 kg/cm ² 。CTG 固化劑不需添加水泥來處理淤泥。固化後仍可作為農業土壤使用。
6.URRICHEM 固化劑	為一乾式化劑，係以化學作用促進水泥分子與淤泥粒間之鍵結。處理時，以固化劑及水泥加入淤泥，一併攪拌後，再添加固化助劑置於反應槽中固化。其 28 天後之抗壓強度可達 200 kg/cm ² 。固化成品可供高負荷地基、消波塊或擋土牆施工使用。
7.CHEMFIK 安定劑	為一乾式化劑，以矽酸鹽及矽酸鹽凝結劑為主要成份。其處理原理為利用所含之矽酸鹽與泥粒之陽離子作用，形成鍵結。再由進入塊狀鍵結物內之矽酸鹽凝結劑將淤泥凝結成砂土一般大小。此一化劑可配合水泥使用以增加其抗壓強度（5~8 kg/cm ² ）。處理後之淤泥適於作為填高窪地。
8.SF 固化劑	為一乾式化劑，係石灰系列構成之無機物組成。其處理原理為利用石灰與淤泥間所發生之水合及水化反應而脫水固化，反應過程中並產生碳酸鈣，吸收一氧化碳而除臭。SF 固化劑能處理含水量高之黏性淤泥，適用於窪地填土。

表十 目前已有之商業化固化劑產品

不同固化劑之固化強度及其處理成本

台灣目前已有多種商業性之固化劑產品，現有化學處理之成本均甚高，阿公店水庫曾提供水庫淤泥，徵求固化劑廠商進行試驗，並估計其處理成本，其單價隨固化後之強度而異，每立方公尺約在 1815~9037 元之間，參如表十一。

表十一 不同固化劑之固化強度及其處理成本

壓縮脫水處理

此方法係將淤泥攪拌成泥漿後用高壓泵注入壓縮機或真空乾燥脫水機，經壓縮脫水過濾等過程，淤泥可分離成固體與液體，液體部分即為水，固體部份分為泥塊或泥餅，可方便輸運至棄土場。其固化品無抗壓強度，因此可作為窪地填土或永久棄土場為最終處置。其處理流程如圖十五所示，此法之處理費用較低（255—450 元/m³），但設備費用較高，處理量少，且易產生二次公害。

圖十五 壓縮脫水處理流程圖

離心機脫水處理

此方法係將經運輸系統運輸之抽泥沈澱物大致處理並將土、砂、石區隔後，其最後之淤砂粒狀沈澱物經調整槽送至離心分離機加以分離出沈澱物，部分無法分離者可再經第二次離心分離機分離並回歸原河道，而離心分離機分離之淤泥除沈澱物外，其剩餘部分可透過澄清淨化槽添加澄清劑加以澄清，其澄清劑可溢流至河道，而於淨化槽內之澄清物可再行送至離心分離機處理，或排放至衛生排水溝渠中，其流程如圖十六所示。

圖十六 離心機脫水處理流程圖

離心脫水機經美國方面試驗結果指出，其每小時大約可處理 46 58 立方公尺之淤泥，且每 1 立方公尺之淤泥其可產生約 0.15 0.5 立方公尺之土塊，其效率因淤泥之土壤性質（比重及其密度）而異，而在處理費用上，離心機每立方公尺約比人工機械挖掘貴 432 647 元，因此以離心機處理費用約為 732~947 元/m³。

一般挖掘處理法

此工法先以抽水機抽乾池面水後用挖土機直接進入池內隨挖隨運，作業簡便，但需有廣闊曝曬場置放，或採用石灰分層灑佈方法，以便淤泥作簡易的脫水後再以卡車運送。此工法成本較上述兩工法為低（300 元/m³），但挖掘裝運困難，並易產生二次公害，故運送時採用不易洩漏之密封及加蓋卡車載運為宜。

浚渫物再利用處理之應用須考慮其處理成本、市場之需求及使用者之意願。綜合以上四法得知：化學固化處理之成本均甚高，阿公店水庫管理委員會曾提供三種不同之水庫淤泥，徵求固化劑廠商估計處理成本，所估之結果雖依固化後之強度要求而有差異，但單價均在 1,815 元/m³ 9,037 元/m³ 之間（如表十一所示）。此一單價範圍遠比目前市場上混凝土價格為高。壓縮脫水處理法之作業費用雖然較低（255 450 元/m³），但設備費用甚鉅，且處理量小。離心機脫水處理法之作業費用以美國之實驗指出約為 732 947 元/m³，單價較挖掘費用為高，而一般挖掘處理費用約為 300 元/m³，是 4 種方法中價格最低者。

4.水庫淤泥之利用方式

水庫淤泥之利用方式，依淤泥特性之利用方式參表十二，而依固化劑比例高低之再利用方式參表十三。

淤泥特性	利用方式
屬泥	磚材 回歸下游河道 固化處理再利用
屬砂、礫石	建材 骨材
無害之有機淤泥	植生 農田土壤改良劑 養蝦池之底泥 熱處理(去除有機物) 與無機泥相同處理
含有害物質之淤泥	適當處理再固化利用 依抗壓強度作為路基、路面、 製消波塊

表十二 依淤泥特性之利用方式

固化劑比例高低	再利用方式
較低強度固化物	基礎回填土
高強度固化物	消波塊、人工漁礁
低污染疏浚淤泥	軟弱地盤以 CTG 固化劑等 處理提高強度，創造新生地
河川淤泥固化	人工漁礁 消波塊 河川堤岸護坡

表十三 依固化劑比例高低之再利用方式

5.水庫浚渫物之最終處置方案

水庫浚渫物之各種最終處置方案敘述如下：

回歸原河道

將水庫淤砂俟水庫放水時或河道中流量較大時，將淤砂浚渫至下游河道，唯下游河道水流之含砂濃度將增加，可能影響取水口之水質，又自建壩後因河道中流量減小，高灘地或已被佔用，淤砂回歸原河道將使下游用水及佔用河道既得利益者不滿。淤砂回歸原河道在社會層面上有賴相關單位之配合，而技術層面上則需進行水文及輸砂之分析以確保河道輸砂之平衡。一般可分為洩流輸砂及河道放淤兩種方式。且需考慮水利法第七十八條第三款：在行水區內擅採砂石、堆置砂石或傾倒廢土禁止事項之適法性問題。

掩埋

水庫淤砂經浚渫後，可選定水庫附近之低窪地予以掩埋。以掩埋之最終處置方式，除必須選擇適當之地點外，在淤砂運輸之前最好先行脫水，而運輸過程中必須避免造成二次公害。掩埋後之土地可供農耕、植生、新生地開發或其他用途。掩埋之淤灌係利用細粒泥砂吸附之營養成分改良農地，但需對農民之意願加以調查。掩埋地點則必須規劃運輸路線、陸棄方式、排水設施及掩埋後土地之利用。

海拋

浚渫後淤砂亦可利用於海埔地填置，或製成足夠強度之塊狀物而拋於海堤或海中。作為海拋之水庫淤砂必須經過固化處理以防有機物及有害物質之釋出而污染海域，在運輸過程中亦須避免造成二次公害。水庫淤砂用於海埔地填置時，其抗壓強度應較掩埋為高，因經填置之海埔地一般皆將開發利用，而作為海拋之水庫淤砂，其抗壓強度須更高，可取代混凝土之功能。

1975 年美國紐約州立大學 Stong Brook 分校曾於實驗室研究發展電廠副產物飛灰和煙氣除硫渣混合固化處理後海拋之可能性，經以飛灰和石灰為主劑，水泥和碳酸為副劑，製成之試體經養護後抗壓強度至少符合廢棄物固化最少 300 psi 之強度要求。

淤泥與燃煤飛灰燒製建材

民國 87 年「水庫清淤之研究（三）」，曾研究將石門水庫水力發電取水口附近清理之淤泥漿與台電火力發電廠燃煤飛灰混合，利用飛灰之多孔構造與微細顆粒，吸去淤泥漿中之部分水份，使淤泥失去水份而變成可塑性黏土。該報告研究之結果顯示，淤泥與飛灰燒結體之抗壓強度隨飛灰量之增加而減少，而吸水率則隨飛灰量之增加而增加。該報告以林口電廠及石門水庫附近之磚廠，計算水庫淤泥與飛灰生產紅磚之成本約為每塊 1.36 元，較目前一般紅磚之成本每塊 1.2 元高 0.16 元，依成本為售價之 15% 換算，則處理每一噸淤泥須 115 元。

淤泥作為人工魚礁

所謂人工魚礁就是將天然或人造的物體投放在海洋中，供給海中動植物良好棲息場所，達到培育資源與增加漁產之目的。政府有鑑於各國紛紛設置二百海浬經濟水域之措施，對我國遠洋漁業產生莫大的衝擊，同時為謀求本國漁業之持續發展，自民國 62 年起即開始有計畫地展開設置人工魚礁培育資源工作，並獲致相當高的成就，但是由於受到人工魚礁設置成本太昂貴的限制，未能大規模設置，只能發揮點的效果而無法達到面的效果。將水庫清淤底泥予以固化後投置於海岸成為人工魚礁，不僅可處理棄土問題，降低魚礁成本，並可增加漁業資源，實為一舉多得之工作。

日本東京工業研究所曾研發出礁體內配置鋼筋之巨型飛灰混凝土人工魚礁。台電公司以飛灰為主要素材，以石灰、廢電石渣及少量水泥為固化劑，製作邊長 30 公分正立方體四孔煤灰人工魚礁共 160 個，於民國 73 年 6 月投放於興達港內灣。

「水庫清淤之研究(三)」曾以白河水庫底泥為主材料，添加不同比例之水淬爐石及水泥製成可用強度之人工魚礁材料，其中人工魚礁固化材料強度低限值約為 21 kgf/cm^2 。各試體並以超音波測試以計算岩石材料之風化係數，各試體之超音波速大致在 1.5 至 2.9 km/sec 之間，各試體並進行氯離子含量分析及 PH 值測定，結果顯示 PH 值大致落在混凝土之範圍內(約 12 - 12.6)，具類似混凝土對鋼筋之保護作用。但各試體之耐久性試驗成果顯示，僅具低至中等耐久性，白河水庫之淤泥較不適於製作人工魚礁。

地工織管

地工織管係將地工織布縫成管狀，應用其本身高張力之特性，擠壓充填於其中之內容物，使其脫水並固化之地工類產品。地工織管早於 1970 年代由美國陸軍工程師團所研發完成，目前已商業化，大量應用於護岸及環境保育方面，其袋體直徑約 1 - 4 公尺，長度可視需要任意調整。在水庫淤積清理作業時可先將水庫淤泥抽（挖）至沉澱池或臨時堆置場，再填充至地工織管內運至適當地點作資源再利用。地工織管材料及縫製費每立方公尺約 450 元，充填費用（不含抽泥船及輸泥管，只含末端壓力及進水等控制）一般土方每立方公尺約 35 元，而水庫細粒淤泥之價格每立方公尺約 70 元，因此地工織管之材料費、充填費（以細粒淤泥估價）及縫製費每立方公尺約 520 元。

地工織管可應用於構築防波堤、人工沙灘、離岸堤、河道護坡工、擋土牆、或主要防護結構物之一部分。地工織管技術曾應用於美國北卡諾萊納州突堤工程、德州烏島防侵蝕工程、費城海岸防侵蝕工程，德國北海海堤、Ems 河之河堤，荷蘭馬肯湖離岸堤等，均為成功之案例。

地工織管之特性

運用力學原理壓縮內容物，無化學變化產生。

柔性構造，形狀可隨地形改變。

機具簡便，施工快速，可大幅縮短工期。

快速固化，節省處理用地。

維護容易，無內部淘空之虞。

造價便宜，較傳統工法節省經費一半以上。

可包裹之內容物粒徑達 0.06 公厘以下。

袋體直徑 1 - 4 公尺，長度可任意調整。

地工織管之用途

海堤及消波堤

圍堰、造陸

堤防、護岸

海岸保護

攔河堰、固床工

丁壩

工程基礎

灌渠棄土

所謂灌渠棄土係將水庫清淤排出之泥水經由灌溉渠道導入農田，期望解決浚渫物處理之問題，同時可改良農地之土質，以其淤泥所含之養份提高農田之肥力。淤灌可配合空庫排砂、異重流排砂、水力抽泥、虹吸抽泥或氣力泵抽泥來實施。

淤灌之應用原理

淤灌之應用主要基於其泥砂組成與渠道之輸砂特性。泥砂顆粒，尤其是細顆粒常吸附營養成份，特別是每年汛初洪水所挾帶

之泥砂，更有明顯的肥效和促進作物生長的作用。

高含砂水流具有特殊的輸砂性質。其特徵為：隨著細砂濃度之增高，渠道中水流之粘滯性也大幅增高，所挾帶粗顆粒泥砂的沉降速度也相應地大幅減小。因此，高含砂水流之含砂濃度高，泥砂顆粒沉速又小，能經渠道長程運送。此一特性使一些按清水設計之灌溉渠道不僅能輸運一般之渾水，也能在高含砂情況下正常運轉不發生嚴重淤積。中國大陸根據大量實測資料點繪而成之含砂濃度（ C_s ）與水力強度指標（ v^3/hw ）^{0.92}之關係如圖十七，其中 v 與 h 分別為平均流速與平均水深， w 為平均砂粒沉速。

圖十七 渠道含砂濃度與水力強度指標之關係圖

由圖十七知，含砂濃度隨水力強度指標之增大而增大，但當含砂濃度大於 $100\sim 200\text{ kg/m}^3$ （相當於 $9\sim 18\%$ ）時，其間關係開始呈現相反之趨勢，亦即較高的含砂濃度反而可以在較小的水力強度下輸送。也就是說，在保持泥砂平均沉速 w 不變的前提下，超過 200 kg/m^3 之高含砂濃度反而可以在較小之平均流速下輸運。圖十七可用來估計灌溉渠道對一般渾水與高含砂水流之輸砂能力。

淤灌之渠道條件

現有依清水設計之灌溉渠道若欲用來實施淤灌，應用前需考慮其輸砂能力。灌渠之輸砂能力大致可以渠道比降為指標。大陸之趙老峪、大黑河等一級渠道引洪水灌區之渠道比降很大，一般在 $1/200\sim 1/500$ 之間。陝西之涇、洛、渭河等大灌區贛、支渠道之比降則較緩，大約介於 $1/1000\sim 1/5000$ 之間。

淤灌渠道之設計與運用考慮

實施淤灌應避免或減少渠道淤積，以保持渠道之正常輸水功能。對於現有灌渠，可從渠道條件和管理運用兩方面來考慮。洛惠渠長期實踐和現場觀測所歸納出之結論如下，可供參考：

渠道斷面需保留較大之出水高度，以備發生泥砂淤積時仍有足夠之過水面積。經驗顯示，要完全避免淤灌期間在渠道發生不淤積是難以做到的。較實際可行之辦法為允許淤灌期間有輕微的淤積，但在隨後之正常灌溉期間將淤積物沖走。這

就需要在設計渠道斷面時保留較大的出水高。

在地形條件許可之渠段適當加大渠道比降。洛惠渠曾於 1975 年進行過相當規模的渠系改造，包括取消一些跌水與改建涵洞及橋樑來提高渠道之比降。

窄深的渠道斷面較有利於輸砂。

渠道宜加以襯砌，土渠應適當養護，以維持較光滑的渠道周邊來提高水流之輸砂能力。

淤灌時應集中流量以提高輸砂能力。例如洛惠渠灌區在總幹渠的末端分東、中、西三條幹渠，在正常灌溉期間，總幹渠的流量分由此三條幹渠往下輸送，但在淤灌時則將總幹渠的來流集中由一條或二條幹渠輸送。

淤灌引水工程

引取水庫浚渫物來淤灌農田，依不同之浚渫方式，可能需要適當之引水工程設施來配合。對於採用機械浚渫方式（包括水力抽泥、虹吸抽泥及氣力泵抽泥）之水庫，浚渫物（即泥水混合物）可由管線直接排入灌溉渠道。陝西王家崖水庫之氣力泵清淤即以此方式實施灌渠棄泥。對於以空庫排砂或異重流方式來清淤之水庫，所排出之泥水通常經由底孔直接注入下游河道，因此淤灌時需從下游河道引取水砂。

將水庫沖刷下洩之泥水由下游河道引入灌區乃屬於高含砂引洪淤灌範疇。高含砂引洪淤灌普遍應用於中國大陸西北與華北河

流之上中游地區。這些地區河流的特點是比降陡、河道較寬。這些條件均有利於高含砂引水的渠首佈置。高含砂引水之渠首多數為有壩引水的佈置，但也有一些採用無壩引水方式。無壩引水方式在應用上應選擇比較穩定之河段，在河道較窄處之凹岸引水，以避免因河道變遷使引水口被淤塞。

綜上述，水庫浚渫物淤泥之最終處置方案彙整如表十四。

處置方式	說明
1.土壤改良劑	有機物含量高之無害細顆粒淤泥，當農地有機肥料。
2.回歸原河道	俟水庫放水時或河道中流量較大時，將水庫淤砂之浚渫物運移至下游河道。
3.磚材	淤泥加飛灰製紅磚。
4.建材或骨材	屬砂、礫石之粗顆粒淤積物。
5.壓縮脫水處理	淤泥攪拌成泥漿後脫水，作為窪地填地，但處理量小，成本高昂。
6.人工魚礁	填加飛灰或石灰後配鋼筋製成魚礁。
7.固化	供路基、路面、消波塊、生態塊、預鑄塊等，但成本高昂（每立方公尺 1,815 ~ 9,037 元）
8.掩埋	選擇下游低地或谷地等適當掩埋地點，掩埋後可供農耕、植生或其他用途。
9.地工織管	將淤泥填充於地工織管內脫水後運至適當地點作資源再利用，可供護岸、堤防、擋土牆等之構築。
10.海拋	填置海埔地，或製成足夠強度之塊狀物拋置海堤或海中。
11.灌渠棄土	引取高養份之細泥經由灌溉渠道導入農田，以提高農田之肥力。

表十四 水庫浚渫物淤泥之最終處置方案彙整表

伍、台灣地區水庫清淤的相關法規

台灣地區水庫清淤的相關法規如表十五。

法規	作業項目	清淤	運輸	棄置
水利法		√		√
飲用水管理條例		√		
台灣省水庫蓄水範圍使用管理辦法		√		
水土保持法		√		√
水土保持法施行細則				√
土石採取規則		√		√
開發行為應實施環評細目及範圍認定標準		√		√
台灣省河川管理規則		√		√
水污染防治法		√	√	√
廢棄物清理法		√	√	√
營建剩餘土石方處理方案		√	√	√

表十五 台灣地區水庫清淤的相關法規

陸、岩塞爆破

一、概述

台灣只有少數水庫設有排砂設施，其中尖山埤設有直徑 1.5m 之排砂隧道，大埔水庫設有寬 8m、高 3.8m 之排砂道，鏡面水庫設有高 2.5m、寬 5m 之排砂道，石岡壩設有二座寬 8m、高 6m 之排砂道。由於大多數水庫均無設置具有充分洩流能力之底孔，因此，即使水庫之其他條件適合水力排砂，也將無法有效予以實施。在此情況下，如欲實施水力排砂，則需先在現有水庫修建底孔。中國大陸自 1970 年代初期即開始研發岩塞爆破技術，以用來修建底孔，至今已完竣遼寧第 211 火電廠第十餘件工程。

二、岩塞爆破技術

已成之水庫或湖泊在修建引水或洩水隧洞時，先把後部的隧洞建好（包括岩體開挖、混凝土襯砌、閘門及軌道安裝、金屬埋件安裝等），僅在進口留下一塊岩體，採用裝藥爆破法將其打開。預留的這塊岩體猶如一個瓶塞，這種將處於較深水下貌似瓶塞的岩體爆破的技術稱之為水下岩塞爆破。

岩塞爆破技術特別適用於現有水庫之改建或增建工程。採用這種技術施工可以不修圍堰、不放空水庫，因此可以大幅減少工程數量，節省施工費用和縮短施工時間。

三、岩塞爆破技術之發展歷史

遠在 1870 年代，國外就有應用岩塞爆破技術之報導。實施最多

的國家是挪威，已有五百多個實例，其他為加拿大、美國、英國、秘魯等國。

中國大陸最早採用岩塞爆破施工的是遼寧省第 221 火力發電廠之工程。該廠欲從清河水庫固定引水 8.0cms。鑒於水庫已經建成，採用常規施工方法將耗資費時，因此決定採用岩塞爆破。經過勘測及設計後於 1971 年 7 月 18 日正式爆破，順利地打開了隧洞取水口。岩塞口成型良好，符合設計要求。距爆源 750m 的大壩及其他結構物均安全。

中國大陸目前已有 12 項工程應用岩塞爆破技術（參表十六）。這些工程爆破時之操作水頭從數公尺到三十多公尺。就工程所在地的地質岩性而論，有火成岩、沉積岩和變質岩。岩塞厚度（H）與直徑（D）之比介於 0.86—1.5 之間，爆破方法包括峒室集中、鉗孔藥包或兩者相結合。為了使岩塞爆破的周邊輪廓整齊，一般都採用控制爆破技術，包括提前於主藥包起爆的預裂爆破或滯後於主藥包之修整型光面爆破。爆破石渣的處理方法有聚渣和洩渣兩方式。表十六中以禮河及汾河水庫之建洞目的在於做為洩洪排砂之用。

表十六 中國大陸部分岩塞爆破工程簡要綜合表

四、岩塞爆破施工之經濟合理性

與修築圍堰的常規施工方法相比較，岩塞爆破之施工之工程量小、施工投資少、工期短，也無需於後期再拆圍堰，具有明顯的優越性。

雲南以禮河二級電站水槽子水庫在增建排砂底孔時也採用岩塞爆破方法來施工。其排砂底孔為馬蹄形，底寬 4m，高 4.93m，當時之底孔位置在淤泥面下 19m 處。該排砂洞於 1988 年春一次爆破成功，沖走淤泥 25 萬立方公尺。這一實例說明岩塞爆破施工同樣可適用已淤水庫排砂底孔之增建。

五、岩塞爆破施工應注意事項

地形與地質測量

正確的設計基於精確可靠之地形及地質資料。相關注意事項分列如下：

地形測量（包括水下地形測量）範圍以進水口為中心，應包括不小於 5—10 倍洞徑之範圍。

地圖應按 1/200—1/500 之比例和精度要求繪製，等高線間距應介於 0.5—2.0m 之間。

對於上面有淤積物覆蓋層的岩塞口，應使用鉆孔取得地面和基岩兩者的地形。

利用地質勘測瞭解岩體結構面形狀及其組合情況，分析在爆破動力作用下卸載穩定性問題。

分析傾向河床和具有貫通性卸荷裂隙的岩體組合，在爆震作用下坍塌後堵塞洞口的危險性。

分析斷層與岩脈組成之滑動面下落之危險性。確定岩塞體之岩石風化厚度、分佈以及岩石面上覆蓋層之厚度與滲透性能，以分析岩塞內藥室及導洞開挖前後之滲漏水量和對施工可能帶來的問題。

進水口位置的選擇

進水口應選在岩性單一、整體性良好、構造簡單、裂隙不發達之處。從地形條件來看，以岩面平順、岸坡介於 30° ~ 60° 之處為宜。另外，還需與現有建築物有一相當之距離。在有些裂隙難以避免的情況下，可採用水下化學灌漿來堵漏。

進水口形狀和尺寸之選定

進水口包括洞臉處進口斷面到岩塞底部直徑的過渡段。其尺寸需能通過設計洩流量。進水口形狀和尺寸可輔以水工模型試驗來選定。進水口與洩水洞之銜接一般採取龍抬頭的形式（參見圖十八）。岩塞中心線的傾角，即它與水平面的夾角 α ，一般取大於岩渣水下休止角 β 之值。如此可保證在運轉期內洞口即使有少量塊體坍塌，也會滑落到渣坑或洞口，不致於堵住進水口。岩塞之厚度取決於作用於岩塞上之水頭、設計洞徑、地質（包括滲漏情況）和施工條件等因素。岩性堅強均一、洞徑小，作用水頭低且又加灌漿補強措施之工程，可採用較小的厚度以減

少爆破的岩渣量。岩塞的厚度可以經由試驗與分析來確定，也可對比參照現有工程，或使用有限元素法來計算。

圖十八 岩塞中心線傾角示意圖

爆破岩渣之處理

岩塞體經過爆破之後便變成了鬆散的岩渣。爆破岩渣之處理為岩塞爆破整體設計中之一個重要環節。處理方式可分為聚渣與洩渣兩大類。

聚渣為在擬爆的岩塞體下游開挖聚渣坑、施工平洞或在洞內建擋石坎，以容納岩渣。挖聚渣坑為國外較常使用之辦法。

遼寧 211 火電廠工程即採用這種方式（參見圖十九）。

洩渣為把爆破下來的岩渣排至隧洞下游河道之處理方式。使

用時，一般在岩塞體下游設一斷面略大的緩沖坑。採用這種方式處理爆破岩渣應注意以下幾點：

避免因洩渣堆積下游河床而抬高下游尾水位，影響發電出力。

避免爆破瞬間石渣在進口咽喉部位堵塞。為此，應控制岩渣的粒徑不能太大，岩塞下游咽喉部位斷面尺寸不能太小。密雲水庫緩沖坑處斷面面積與岩塞底面積相等，為下游隧洞過水面積的 2.21 倍。橫錦水庫岩塞下游緩沖坑處的斷面面積為岩塞底面的 1.14 倍，下游隧洞過水面積的 4.12 倍。

避免石渣對隧洞襯砌，尤其是門槽、軌道及金屬預埋件，產生過度之磨損。工程實踐顯示，由於洩渣數量有限，過流歷時短，洩渣雖會對混凝土襯砌造成輕微的磨損，但一般不致於引起結構上的破壞。

在 1994 年所進行之密雲水庫供水工程的岩塞爆破是一個成功的例子。爆破時，緊接岩塞體下游為事先已修好之工作閘門及軌道。閘門下游則為已經襯砌好的長隧洞。依據事先水工模型試驗模擬岩渣運動之結果，精確地控制爆破後下落閘門之時間，使得大部份岩渣堆積在長隧洞內，便於爾後之清理。

圖十九 遼寧清河水庫 211 引水工程岩塞與聚渣型式

第三章 集水區保育及管理

—集水區非點源污染防止及控制的**最佳經營措施(BMP)**

壹、前言

集水區**最佳經營措施(Best Management Practices)**乃提供集水區經營者、規劃者、顧問公司在實務上如何以非工程方法為主之有效減少或控制集水區非點源污染的一門技術。

美國維幾尼亞州 Chesapeake Bay 保全法要求集水區新開發區在平均的司法基準上不得有新增營養物負荷之污染源產生；在既有已開發區要重新開發則要求要有減少百分之十營養物負荷的措施，BMP 措施可提供其估算污染量及相關有效之非工程方法及工程方法污染防止措施，以有效管理集水區水質污染問題。

一、非點源污染及**最佳經營措施(BMP)**

非點源污染是點源污染的相對名詞，現已知非點源污染佔地區或區域之水質問題有很顯著的地位，如非點源污染之二個最重要污染源氮及磷，在美國北維幾尼亞州可控制之氮污染源，農業非點源佔 23%，都市非點源佔 11%，都市點源佔 66%；而可控制之磷污染源，農業非點源佔 60%，都市非點源佔 24%，都市點源佔 16%，可見其重要性。

本文係介紹都市地區非點源污染之處理，都市非點源污染除營養鹽之外，尚有泥砂淤積、重金屬、人造有機合成物、石油碳氫化合物、病原菌等，會由暴雨逕流、大氣沈積、溪岸沖蝕等流入水體，

在此均將進行介紹。

最佳經營措施為一種工程或非工程措施或兩種方法之綜合措施，以提供由於開發或人為活動對水質污染之有效減少措施。傳統的 BMP 工程方法有調節池、沈砂池、滲透溝渠、砂濾入滲系統等，以透過沈澱，多孔質物質將溶質營養鹽污染移除。非工程方法之 BMP 可單獨操作，或與工程方法之 BMP 配合運用。非工程方法 BMP 措施有增進污染防止之民眾認知，使用植生技術之生態池或濕地，以控制導向技術進行污染物移除，增進土地之滲透性能為目的。

二、機關權責

在美國維幾尼亞州，水土保持局保育及娛樂處負責州政府主要之非點源污染經營管理業務；環境水質處則負責點源污染管理及各項地表水、地下水水質標準之建立；而 The Chesapeake Bay Local Assistance Department 處則負責相關設計及經營規範推動的施行及協調。

三、非工程技術設計所需的進一步指導原則

傳統工程 BMP 措施主要在處理暴雨時固體物之沈積及透過土壤層滲透以移除污染物，但都市污染源仍有很大部分之可溶解物質無法透過工程方法有效處理。故進一步使用非工程方法透過減低污染源的教育宣導、以植生措施以維持土壤滲透能力之功能及保護帶設置等，使污染源減少，增進土壤滲透性能，再配以傳統工程方法，使 BMP 措施更能有效減少集水區污染源流入水體內。

四、非工程方法都市 BMP 措施調查

一般非工程方法 BMP 措施有兩種方法進行都市化水質污染的消滅措施，其中之一為事後污染物移除，另一種為污染源事前防止。事後污染物移除為一種控制措施，多用工程技術處理；污染源事前防止為減少污染源或禁止產生污染源之措施；污染源減少應是一種較為環保，經濟有效的地表水質保護措施。

以下為各種非工程 BMP 措施對地表水質污染衝擊消滅的各種原理簡述：

(一)、 污染防止措施

為(1)在逕流進入雨水排水系統前防止新產生污染源之逕流進入雨水排水系統，或已經有污染之逕流流入雨水排水系統內；或(2)透過水土保持、植生等措施以維持土地天然滲透功能以增加滲透機能，減少地表水污染量之各種方法，均屬污染防止措施。

故污染防止技術包括有土地使用經營管理及改善、民眾教育及義工措施，分述如下：

1. 土地使用經營管理及改善

土地使用控制

包括購買土地開發權、土地開發權轉移、重新開發、土地分上、下區域等土地使用控制技術。

開發設計時之集水區保護

此技術主要目的在設計時透過減少不透水面積及綠地最大化以減少新開發區之衝擊。增加土地之滲透性能可減少暴雨逕流及非點源污染流入河溪內。實務上包括有保育措施、替代

道路、停車場及不透水面積等方式之土地使用規劃。

都市造林及河岸緩衝帶修復

以增加都市土地之滲透性能，防止鄰近土地使用區之逕流流入河溪內，以減少或消除淤積、營養鹽、河岸沖蝕。

地景策略

與開發設計時之集水區保護措施相似，但目標為住家或商業區，使用明智的水處理地景策略，以維護土地之天然滲透性能，保存水以減少暴雨逕流。

2. 民眾教育及義工

民眾教育

民眾教育可用於任何污染問題，主要在教育人類行為的改變，使民眾減少製造污染源。

專用暴雨排水系統

乃在教育民眾有任何排泄物倒入暴雨排水溝或任何人類活動由不透水面流入暴雨排水溝系統者，該等區域水資源就不要利用。

動物廢棄物控制

寵物及動物排泄物為都市非點源污染的重要來源，以民眾教育減少該等廢棄物之排放。

草地及庭園管理教育

教育民眾適當使用肥料、殺虫劑以減少污染源。

減少廢機油污染

教育民眾廢機油回收，儲存再利用。

(二)控制措施

控制措施與傳統的 BMP 措施相似，在於當非點源污染源進入水體後的移除工作。

1.植生控制

包括植生緩衝區，植生過濾帶及草澤地。

2.生物調節園及降雨庭園

與傳統之滲透溝相似，但增加生物活動部份，有如森林上層土之有機壤土層之生物活動層，且下層土壤要有良好之滲透性能，故有些地方需移植適當之土壤。

3.暴雨濕地

濕地可控制都市污染量，增加都市野生動物棲息地，減少逕流，增進污染物之沈澱。

4.街道清潔

使用真空吸塵器等將沈積在街道上之污染物吸除。

貳、處理非點源污染問題

本節探討非點源污染之特性與非工程方法 BMP 措施之關係及成功辨識集水區內或某一特定區內非點源污染問題之步驟。相對之點源污染如工廠廢水排放口，則容易控制與掌握。

一、非點源污染的途徑

在天然情況下，土地的滲透性能可經由生物的吸收，化學的分

解及土壤的滲透將集中在地表的污染物中和。但都市化的結果，增加過多的污染源，且不透水面積增加降低土地的滲透性能，而使水資源受到污染。

都市非點源污染流入水體的途徑有以下幾種：

(一) 都市暴雨逕流

都市暴雨逕流在初始形成 0.5 英吋深之逕流時所攜帶的污染量最嚴重，而後污染物快速減少，故很多的工程方法 BMP 措施只處理此初始形成 0.5 英吋深逕流的污染源。

當降雨時由於不透水地面如停車場、道路、屋頂、人行道、車道等使雨水無法滲入地下而產生都市逕流。一般都市地區不透水地所收集累積之各種污染源型態如表十七之都市暴雨逕流常見之污染源，而都市逕流及公路逕流之各種污染物濃度統計如表十八。

銅、鋅、鉛等重金屬為都市逕流的主要污染物，石油、潤滑油亦為都市逕流常見的污染物。

表十七 都市暴雨逕流常見之污染源

表十八 都市逕流及公路逕流之各種污染物濃度統計表

(二) 溪岸沖蝕

溪岸沖蝕為輸砂及營養鹽的兩個天然源，但都市化之後由於不透水面積增加，增加逕流量，會加速溪岸沖蝕而增加水體之污染源。

(三) 大氣落塵

火力發電廠、煉油廠會產生很多的空氣污染及落塵，尤其燃燒木炭會造成空氣中之氮落塵，易造成水體之優養化。

(四) 其他非點源污染的途徑

1. 直接流入

直接流入水體內之污染也是造成水質劣化的重要原因，如下：

- (1) 廢油直接倒入區域排水系統內。
- (2) 水邊或船上不當使用石油造成外洩。
- (3) 住家、商業區或船內腐敗物釋放排入水體內。
- (4) 氯液流入當地溪流內。
- (5) 水體附近不當的農藥排放。

2. 地下水

有些地表水的非點源污染係由地下水而來，因地下水提供溪流的基流量，地下水遭受污染之途徑有：

- (1) 滲透性土壤上之可溶解性農藥的不當使用。
- (2) 土壤含有肥料達飽和了。
- (3) 已腐化之滲流系統。

二、非點源污染的型態、來源及去處

都市水質非點源污染主要的污染類別有營養鹽、輸砂、細菌、

重金屬、有機合成物、碳氫化合物等，美國湖泊各種主要非點源污染所佔的比例如圖二十，其類別及對環境之影響分述如下：

圖二十 美國湖泊各種主要非點源污染所佔的比例

（一）營養鹽污染

一般水體內最大的污染源是營養鹽，其中淡水系統的主要控制性營養物是磷，而鹽水系統的主要控制營養物是氮。高濃度的營養鹽會造成靜水區藻類的大量繁殖而產生水質優養化問題。

氮、磷以溶解性及非溶解性兩相存在，非溶解性磷佔總磷污染物之 40%~50%，而非溶解性氮只佔總氮之 20~30%。工程方法之 BMP 措施主要在處理非溶解性氮、磷之污染物以沈澱移除；而非工程方法之 BMP 措施則可防止各相之氮、磷流入水體內，或由植生覆蓋、土壤滲透性能使生物吸收、化學分解方式進行處理。

營養鹽的產生及運移主要由人類活動、土地利用、土壤沖蝕、寵物排泄物等流入水體，空氣中之汽機車及火力發電廠排放物也會

造成污染流入水體內。

（二）泥砂污染

適當的泥砂輸送為水中浮游生物營養鹽之來源，但過量的泥砂會阻塞河道，造成水庫淤積及水質污染。輸砂污染係因過量的土壤沖蝕所造成，都市地區主要的輸砂來源為施工活動、溪岸沖蝕、由雨滴沖蝕、層流沖蝕、溝壑沖蝕流入水體，其輸砂量為農地及林地之百倍至千倍以上。

（三）細菌污染

細菌會隨溫度的提高而大量繁殖，美國水體之細菌污染夏天及冬季之細菌量差距達 20 倍以上。評量水體中之細菌污染情形主要以排泄物之大腸桿菌數判定。美國聯邦乾淨水法規定，個別之排泄物大腸桿菌不可超過 1000mg/L 以上，總體上不可超過 200mg/L 以上，否則即視為有過量之細菌污染流入水體。

排泄物大腸桿菌之主要來源為家庭、動物排泄物及腐敗物質。

（四）重金屬污染

重金屬由於對水棲生物有毒性且對飲用水污染，故為重要考慮之污染類，尤其是溶解性之銅及鋅。大多數之重金屬隨泥砂流入水體，空氣中之鉛污染是對人體嚴重威脅之污染物，但隨無鉛汽油之推動已有效改善。

（五）有機合成物

大多數之農葯為有機合成物(SOC)，由於其污染物會生物累積，故極少量經過長期間後對人體健康也會有很嚴重之影響。有機合成

物之半衰期愈久者對水體污染之影響愈大。

(六) 碳氫石油化合物

石油化合物污染即使僅有少量之污染對水棲生物就會造成嚴重之毒性影響，石油化合物主要由汽機車之排放而來。

各種非點源污染對水資源之影響如圖二十一，而都市非點源污染源詳表十九。

圖二十一 各種非點源污染對水資源之影響

表十九 都市之非點源污染源

三、水質問題檢測

水質檢測為處理非工程方法 BMP 措施相當重要的起始工作。非點源污染物之類別及其檢測項目詳表二十。

表二十 非點源污染物之類別及其檢測項目

而一般水質指標之檢測項目有：

溫度：太高可能係因河邊過度砍伐。

溶氧量：過低表示有超量營養鹽流入水體。

葉綠素。

PH 值。

除以上各項水質檢測項目外，尚有以下三種水質檢測方法：

目視指標：

垃圾、水面污油、溪岸邊倒下之樹均可用目視。

生物指標：

由生物群落評估瞭解水棲生物健康、數量情形。

污染勢指標：

如當地有地熱油井，或老舊房子集中等情況。

而水質資料之取得有以下幾種方法：

使用既有之河川水質資料或由既有之水質監測網取得。

為某特定目的建立水質測試站網。

執行生物群落評估體系。

執行污染勢能評估，以取得可能之污染問題。

(一) 使用既有水質監測資料

在維幾尼亞州，有以下幾個單位可免費取得水質資料，既經濟又有效。

1. 縣市健康局。

2. 美國地質調查所水資源年報。

- 3.維幾尼亞州環境水質局。
- 4.集水區特別保護區試驗機構。
- 5.地方政府及環境機構。

(二)建立地區水質監測網

如既有水質監測資料不足，可考慮對有疑問或需補強之資料建立區域水質監測網，以下五個分析步驟為設計一水質監測網的經濟有效方式。

1.確立所要監測之水質項目(目標)

依水體水質情況判定、辨識問題區及污染源、問題減少策略的位置選擇、控制技術的替代減少污染等策略之考量後決定。

2.依財務成本及效益決定

水質監測計畫之成本依測站數目、檢驗參數數目、實驗分析數量等而定。

3.執行污染問題及檢測項目系統分析

為計畫評估過程之核心工作，包括集水區特性調查、最重要之污染勢源及問題，最關鍵之地點、時間及生物單位等項目。

4.定出監測計畫初步工作項目

包括採什麼樣品、那裏採樣、每次採樣幾個樣品、如何採樣及樣品要分析什麼等項目。

5.評估監測計畫並定案

主要依採樣數目及經費與計畫目標進行成本效益評估後定案之。

(三)判定水質是否有問題

在執行非工程方法 BMP 措施之前，先要回答是否有水質問題，需由水質標準及水質趨勢判定之。

1.水質標準

美國聯邦乾淨水法之水質標準在維持水域能提供人類可游泳之娛樂使用及水棲生物能適當生存，如表二十一（1）；而非美國聯邦乾淨水法之選定之水質標準如表二十一（2）。

表二十一（1） 美國聯邦乾淨水法之水質標準

表二十一（2） 非美國聯邦乾淨水法之選定之水質標準

2.水質趨勢

水質趨勢亦為判定水質污染潛勢的重要措施，可由短期或長期趨勢進行判定，但應注意季節性的變化，判定方法有：

- (1) 簡單柱狀圖法。
- (2) 時間序列分析法。

(四)生物群落評估

水體內生物群落生長良好的生物指標亦是評估水質良好的重要指標，因一般生物生長良好的水質亦適合人類飲用，生物群落評估可由生物群數及歧異度進行評估。如水體內有蜉蝣類幼蟲即表示水質良好。

(五) 污染潛勢評估

不同的污染型態、污染源與污染水準與不同之都市土地利用型態及人類活動有關，故分析人口特性及土地利用有助於評估污染潛勢。以下資料來源可助於污染潛勢之評估。

- 1.美國人口調查資料。
- 2.區域土地利用圖。

不同土地利用對逕流之污染情況詳如表二十二。

- 3.環境水質局資料庫。
- 4.縣市健康局的病歷資料。
- 5.地方及州工商名錄資料庫。

表二十二 不同土壤型態及土地利用對逕流之泥砂、氮、磷污染情況

四、立法控制非點源污染

各級聯邦、州政府、地方政府所立法要求之非點源污染控制之重點不同，要互相配合以普遍喚起民眾的共識，分述如下：

1.美國聯邦非點源污染條例(Federal NPS Pollution Regulations)

美 1972 年修正的聯邦水污染防治法禁止污染水流入水體內，除非由國家污染量消滅系統允許者，以減少工廠、廢水處理廠點源污染量。而美國會則於 1987 年修正乾淨水法，以處理公共暴雨流量系統之非點源污染管制之法源，強化禁止非暴雨流量流入雨水排水系統之禁止措施及相關污染量減少措施。

2.1983 年 Chesapeake 灣協定

該協定係立法 The Chesapeake 灣保育法，其主要立法策略在消滅非點源氮、磷之污染量。

3.其他州政府法規

1989 年公告之維幾尼亞州暴雨經營法

處理開發區開發後之暴雨體積控制及水質控制。

沖蝕及輸砂控制法

處理土地開發時之輸砂控制。各項非點源污染之法規及計畫詳表二十三及圖二十二。

4.地方非點源污染控制計畫

主要在污染源減少及污染防治措施方面，包括民眾教育、植樹、農藥管理、保護帶設置、河濱造林等項目。

表二十三 維幾尼亞州都市非點源污染經營管理措施

圖二十二 美國各級政府各項主要非點源污染法規關係圖

參、選定適當的非工程方法 BMP 策略

選擇工程方法 BMP 措施之標準包括評估位置空間及土壤適宜性之物理限制、所要處理的集水區、維修及成本考慮、要求之污染移除效率等。非工程方法選定之準則與工程方法相似，但有些不同。選擇非工程方法不只是在隔離污染源，還要有目標策略進行，如找出重要污染源，進行工程方法與非工程方法搭配使用等。

該等技術並應滿足計畫目標之要求，一旦非點污染問題找出來，就要進行適當的污染消滅技術，以下為各種有效的污染消滅之策略：

- (1)植生緩衝區。
- (2)植生過濾帶。
- (3)草生沼澤地。
- (4)生物調節區。
- (5)暴雨濕地。
- (6)街道吸塵。
- (7)土地利用控制。
- (8)區域開發時之集水區保護。
- (9)都市造林及河濱區緩衝帶復育。
- (10)明智用水的地景開發策略。
- (11)民眾教育。
- (12)預鑄暴雨排水系統。
- (13)動物排泄物控制。
- (14)草地及花園養護與教育。
- (15)減少汽機車污染排放。

一、選擇 BMP 技術的法規需求及影響

適當的非工程方法 BMP 措施要滿足目標需求需考慮所訂的法規是否滿足污染減少量化的要求、各項立地條件的要求、各種特定污染的要求。

二、選擇標的污染物的處理技術

由評估或既有資料分析，選定何種標的污染物要進行控制，再選擇適當的 BMP 技術進行處理。主要的非點源污染有營養鹽、泥砂、有機合成物、細菌、重金屬、碳氫石油化合物、固體廢棄物等類，各類污染之適當的 BMP 策略詳表二十四。

表二十四 各類污染之適當的 BMP 控制技術

三、選擇一適合密度及發展條件之技術

每一集水區有不同開發密度、開發中或已開發及開發型態的組合，故每個地區需選擇自己適用的 BMP 措施進行處理，各種不同開發型態的非工程方法 BMP 措施設計標準參二十五。

表二十五 各種不同開發型態的非工程方法 BMP 措施設計標準

四、審定環境利益及民眾關心事項

很多非工程方法 BMP 措施除可改善水質外，也有益於環境、休閒娛樂價值，其審定標準包括有創造野生動物棲息地、溪流溫度穩定性、地景增強、景觀娛樂價值、潛在的災害及民眾接受度等，但主要還是要考慮水質改善的成效。

1. 動生動物棲息地創造

非工程方法 BMP 技術植生種樹、灌木、草地等除用以改善水質外，也可用於增進野生動物棲息地的創造。而暴雨濕地及河濱緩衝區也對於野生動物棲息地之歧異度有所助益。

2. 溪流溫度穩定

有些暴雨濕地因無樹木會增加溪流之溫度，而河濱緩衝帶因有遮蔭效果可促進溪流溫度穩定。

3. 地景增強及景觀價值

一般如植生等 BMP 措施有助於景觀效果，但仍有主觀性存在。

4. 休閒娛樂益處

河濱森林緩衝系統如在不破壞緩衝系統情況下設置步道、腳踏車道，可提供休閒娛樂之功能。

5. 潛在災害防止

如暴雨濕地可防止小孩遠離水域。

6. 民眾關心事項

有些 BMP 措施會影響民眾的權益，要透過民眾教育，教導民眾的認知。

五、非工程方法 BMP 措施審查準則

非工程方法 BMP 措施對水質改善之各項評審準則摘要詳表
二十六。

表二十六 非工程方法 BMP 措施對水質改善之各項評審準則

六、選定一個適當民眾教育計畫的準則

民眾教育在所有非工程方法 BMP 措施中的效力最高，因其可根本改變人的行為。以下為適當民眾教育選定的準則：

- 1.教育計畫包括那些人，計畫要完成什麼目標。
- 2.什麼計畫適合處理污染問題，如何使民眾能切實瞭解。
- 3.有那些適當的資源可用以執行計畫。
- 4.尋找財源。
- 5.選擇一適當的 BMP 計畫。

七、考慮立地適宜性所適當的 BMP 措施

不同立地條件需考慮的項目有：

1.所要處理的集水區面積

與逕流量大小有直接關係故很重要，如一般植生過濾保護帶不適於排水面積大於 5 英畝的地區。

2.土壤型態

與土壤滲透能力有關，如植生過濾帶、草生沼澤地、生物調節池等 BMP 措施之最小滲透率為 0.27 英吋/小時；而暴雨濕地則土壤滲透率不能太高。

3.坡度

坡度會嚴重限制 BMP 措施的类型，如草生沼澤地及植生過濾帶之坡度需小於 5 % 才有功效，生物調節池設備之坡度不可超過 1 : 3。

4.土地的浪費

各種 BMP 措施均會佔用土地而減少土地的利用面積。

5. 鄰近基礎、水井、基岩及地下水位

滲透性措施或生物調節池如鄰近有建築工程之基礎、水井、基岩或地下水位，其功能會受到限制，故應儘量遠離，該等設施應遠離水補注區 100 英尺以上，底部離地下水位或基岩應有 2 英尺以上。

肆、污染防止措施

污染防止措施是一種污染源減少、消除的經濟有效的方法，比傳統的工程方法 BMP 控制措施有效，因有些水溶性污染物無法由 BMP 措施控制處理。污染防止措施主要在教育民眾污染行為的改變以減少污染源，或在土地開發時使用保育措施增加土壤滲透能力以減少污染量。

一、土地利用經營及改善

土地利用經營及改善技術包括有土地使用控制、區位設計時之集水區保護、都市再造林及河濱緩衝帶修復、明智的地景規劃用水策略等項，分述如下：

(一) 土地使用控制

透過以下之措施以減少非點源污染對水質衝擊之影響：

保護陡坡、易受蝕性土壤等天然敏感地。

對已存在之基礎設施進行監督以控制非點源污染。

對已存在居住環境之輔助設施如學校、道路、公共設施等所

需增加的不透水面積進行監控。

1.策略描述

土地開發權的購買

地方政府有權購買某塊土地供開放空間使用。

土地開發權之轉移

限制保護區土地開發權的轉移。

土地區分低密度及高密度開發區

用以管制污染源。

都市更新。

2.污染標的策略

一般土地使用控制的污染標的策略主要是不透水地區，因該等地區多為非點源污染源匯集之地點。土地使用及土壤型態對非點源污染的影響參表二十二。

3.污染防治效能評估

土地使用控制措施之污染防治效能評估因子有：

現在情況

集水區之不透水面積及土地使用組合之現況為何？

沒有行動之情形

如所提出的土地使用控制未施行，則集水區不透水地區及土地使用組合未來會變成什麼情況？

有採取行動之情形

如所提出的土地使用控制有施行，則集水區不透水地區及土

地使用組合未來會變成什麼情況？

其他地區之衝擊

如其他地區之集水區施行土地使用控制措施以減少水質污染，則開發密度之取代程度為何？

(二) 區位設計時之集水區保護

考慮施工時之減少沖蝕、減少不透水面積、增加植生面積、避開環境敏感地之聚落開發等技術。

1. 策略描述

減少不透水面積

不透水面積為造成非點源污染的主要原因，因其減少土壤滲透能力，造成污染物逕流大量集中。減少不透水面積的措施有：

減少建築物的地基：如建高樓以代替平房。

減少建築物的梯形後退型式。

減少車道及停車場空間：使用填方車道取代。

減少街道寬度。

減少死巷設計：改以 T 型或 U 型迴轉道。

戶外庭園使用透水材料填鋪。

鼓勵使用共同停車場。

增加綠地

不要淨伐。

敏感土地增加緩衝區。

由保育措施以增加不擾動地。

建圍籬保護未擾動地。

多維護原有綠地少改成低矮草地。

採用維護工作少之綠地。

土地區位適宜性開發

避開環境敏感地，選擇適合開發之區位進行開發，則街道長度可減少，開發面積減少，而減少不透水面積。

2. 污染物防止估計

不透水面積減少之污染物防止估計與土地使用控制措施相似，但較簡化，因不透水面之內只需視為一種土地利用即可。

(三) 都市造林及河濱緩衝區復育

1. 都市造林的一般考量

規劃植生計畫。

鼓勵私人及個人從事都市造林保育行動。

提供造林相關資訊。

提供適宜樹種、植生技術及樹苗來源資訊。

增進都市造林民眾教育。

2. 規劃策略及適宜造林地的篩選

植生有助於水質保護及野生動物棲息地的提供，集水區河濱適宜造林地的篩選首先即是對於可能之地方進行測量，地點選定之後即對於水質保護及棲息地之功能進行設計。測量方法一般有野外測量及航空測量兩種。

保護帶野外勘查測量

如集水區較小而造林地需詳細的佈設，則使用野外測量為宜，但如有私有地之限制則不適宜。野外測量主要的好處為有些小溪流航照圖上未顯示但會造成水質污染之溝渠得以辨識出來。

保護帶使用航空測量

有利於對大面積保護帶不足地區進行快速辨識與確認，但第四或第五級溪流不易辨識出來。

3. 植生計畫

決定植生目的

造林除主要用以防止非點源污染外，尚具有遮蔭、防風、防止土壤沖蝕、減少二氧化碳值、減少建築物能量消耗、地景景觀及提升土地價值等功能。

依目標決定造林位置

除主要考慮水質改善功能外，地下公共設施問題亦應一併考慮。

取得植樹許可

造林地內如有私有地、學校、圖書館、公園等，應取得土地所有人之許可。且勿於道路、污水下水道、雨水排水道等預定地上造林。

判定造林地環境及大小限制

造林時應考慮成木後之空間需要，造林地之水文、土壤條件

應一併考慮。

選擇適宜樹種

選定時以本地種為主，外來種為輔，並選擇不易遭受蟲害之樹種。

確保交通路線通過造林位置之樹木保護

樹木移植後應儘速種植，以防枯死。

4.徵募義工

5.維護經費及機具

6.溪岸復育

溪岸地如有易淘刷之土地則造林不易成功，需有相關溪岸保護工程配合。

7.污染物移除效果

都市河濱緩衝帶影響污染物移除的效果之問題有：

鄰近土地利用排水流入保護帶之程度為何？

鄰近土地利用之污染量及污染型態為何？

都市排水流入緩衝帶之流速太快所造成之副面作用為何？

緩衝帶系統對暴雨流量移除污染物的效用為何？

北維幾尼亞州係採用河濱兩岸各 100 英尺寬之保護帶進行設計。造林成木後對營養鹽負荷減少的效果如表二十七（其不透水面積由 15 % 降至 5 % ）。

表二十七 都市河濱緩衝帶造林成木後對營養鹽負荷減少的效果

(四) 地景策略

地景策略為增加植生面積，減少不透水面積以增進土地之滲透性能，並增設小水池以攔蓄過量之暴雨逕流減少逕流沖蝕。其策略有：確保土壤之滲透能力，設計小水池以攔蓄過量逕流，地景設計上減少使用草皮，依適地性使用適宜樹種進行植生。

確保土壤之滲透能力

開發時儘量減少擾動土地以維持土地之滲透性能，開發區之表土不透水層則以移除或鑽孔，以增加滲透能力。

設計原地保留雨水逕流小水池的地景

以增加滲透，減少逕流，進而達到減少非點源污染源及防洪功

效。有以下幾種方法：

分流：將水注引至林地以增進滲透機會。

林地設平台階段：以減緩逕流，增加滲透。

佈設滲透性鋪面：使用磚塊、石頭、混凝土塊鋪在砂地上以增進滲透性能。

灌溉系統：使用滴灌、噴灌、漫灌等方式。

地景設計時儘量少用草地

草地需要較多的補助水份及施肥、噴灑農藥等維護工作，故會增加污染源，如要使用草地時使用耐旱草種如百慕達草等，並進行約 2 英寸厚之草地敷蓋以減少逕流沖蝕。

依適地性使用適宜樹種

很低水區

樹木僅需於新植時才需灌溉。

低水區

需少量灌溉。

中度低水區

需適量灌溉。

二、民眾教育及義工參與

民眾教育及義工參與在非點源污染防制措施上主要在改變人類污染的行為，使民眾認知污染的情況以改善污染源。因大部分民眾根本不知道他們的污染行為對環境所造成的影響為何？評估民眾教育對防止污染的效益有 1. 多少人聽到這個訊息，2. 多少人改變他們的

污染行為，3.多少人改變到什麼程度。

本節內容包括預鑄暴雨排水溝、動物廢棄物控制、草地及花園養護教育計畫及減少汽機車污染排放等。找出主要污染源及該污染源產生之原因、流向，以教育民眾減少污染源，表二十八為 15 種常見的民眾減少非點源污染的活動。

表二十八 十五種常見的民眾減少非點源污染的活動

找出主要污染源之後，進一步則需有義工參與，義工可由童子軍、學校、環境保護團體、當地居民、地方政府官員等找得。

（一）預鑄暴雨排水溝

使用預鑄暴雨排水溝主要在使民眾所丟棄的污染物體勿排入暴雨排水溝內，以減少非點源污染的產生。

（二）動物廢棄物控制

寵物及其他動物之排泄物如隨地在庭園、路邊、溝渠排放，很容易就會流入暴雨排水溝內而污染水質，成為都市溪流之氮及細菌的主要污染源。

1.策略描述

動物廢棄物控制當為一種非點源污染 BMP 措施乃在教育民眾減少或防止其糞便排入區域排水溝內，但有時這些策略仍需立法之配合。

監視你餵什麼食物給你的寵物

米、豆及麥類食物很容易為寵物消化，而玉米類食物則餵食後不易分解應予避免使用。

控制你的寵物何處排便

最重要為讓寵物之廢棄物勿流入暴雨排水溝內，對於寵物在路邊、公園、街道等公共場所排便則進行取締處罰，寵物排便去處的適當方法有：

沖洗到廁所化糞池內。

收集處理後當有機肥。

掩埋到土裏深處。

2.計畫執行

動物廢棄物控制措施的教育方式在教導民眾在公共場所將寵物隨便排便是非法的，並讓民眾能夠瞭解其糞便會影響我們的環境及水質，並將宣導海報在寵物店或郵寄發送給大家。

3.污染防止估計

寵物糞便對水質污染影響之研究尚少，但可由區域之寵物數量及排便量與所含 BOD、總氮、總磷污染物進行估算。如狗之排泄物非點源污染量之簡易計算式可參考表二十九。

表二十九 狗之排泄物非點源污染量之簡易計算式

對於污染物移除效率的估計，主要在於是否能實際估算出來透過民眾教育之後，有多少百分比的寵物排泄物被適當處理。表二十九也可以用以估算民眾教育前後對非點源污染流入河川的減少效果。

4.計畫維持

民眾教育工作是需要持續進行的，才能確保民眾對污染防制工作的認知，以有效防止污染源流入水體內。

(三) 草地及花園養護教育計畫

草地及花園養護教育計畫乃在教育民眾勿過量使用肥料及殺蟲劑，其對減少非點源污染有很大的助益。執行策略包括有：

- (1) 適當的肥料管理。
- (2) 綜合性農藥管理。
- (3) 割草及用水管理。
- (4) 鼓勵商業草皮養護公司提供非點源污染減少之服務。
- (5) 確認商業草皮養護公司知道並配合化學肥料應用的相關法令規定。
- (6) 提供消費者親水草皮養護公司的訊息。

(四) 汽機車排放污染的減少

汽機車排放之機油、抗凍劑、潤滑油、重金屬清潔劑、石棉等為非點源污染主要之污染源，如流入水道內對水生植物也有毒害。此種污染經由教育及最佳操作措施後，透過駕駛者及維修人員適當的使用，可使污染源有效的減少。

1.透過民眾教育改變汽機車污染排放習慣

養成良好開車習慣以減少廢氣排放。

定期汽車保養。

廢油回收再利用。

先選擇對環境污染較小的車種。

2.汽機車工廠的最佳經營策略

廢機油等要回收，勿排入水體內。

使用密閉迴路系統。

汽車儘量以乾洗，勿噴灑濕洗，以減少廢水排放。

教育員工勿任意排放廢油。

伍、控制措施

控制措施表示污染源已經產生之工程處理措施，與工程方法之BMP 措施如滯洪設施及滲透設施相似。控制措施之污染移除效率因有明確的進出數量，故比防止措施更易量化分析處理。

本節所談之控制措施有植生控制措施、暴雨雨水濕地及街道清除等項目，為移除非點源污染，控制措施較適於定點設置。

一、植生控制措施

都市非點源污染之植生控制技術有設立新植生地及增強既有植生地，以阻截地表逕流，減緩流速，達到阻截泥砂及各項水體內之污染物，防止流入水道內為目的。植生控制措施之功能需具有減少雨滴濺蝕、減少漫地流流量、吸收雨水、囚砂、吸收營養鹽、低耗

水及低化學肥料使用之維護少等功能，並具有資源保護、娛樂等附帶功能，其項目包括有植生緩衝區、植生過濾帶、草澤地及生物調節池等。美國維幾尼亞州暴雨經營法將植生控制措施對營養鹽磷之移除效率標準之目標列如表三十。

表三十 植生控制措施對營養鹽磷之移除效率標準之目標

要有良好的植生控制措施，須有健康的植物覆蓋以達到水質保護之功能，良好的植被依當地氣候、水文、土壤、地下水位等條件而選擇適宜之樹種，而樹種選擇以原生種為宜。對於暴雨濕地其土壤之滲透率需小於 0.52 英吋/小時 ，而對於要求滲透功能者其土壤質地之滲透率需大於 0.27 英吋/小時 。

選擇非點源污染控制的植生標準為：

植生控制型態。

提供特定逕流污染源控制的適宜性。

在暴雨濕地植生時須能忍受季節性及週期性之淹水。

立地條件及氣候的適宜性。

與周圍環境景觀或既有植生之相容性。

植生維護之需要性。

需光性。

植物生長率。

土壤硬度。

植物間距。

（一）植生保護區

植生保護區為一天然、未開發之綠地，一般位於溪邊，可當都市河濱保護帶使用，有助於阻截都市污染源流入水體，並增強溪岸之生態系統及休閒娛樂價值。植生保護區為天然形成的與人工所造之植生過濾帶意義不同。

1.目的及功能

水質機制

天然植物落葉、枝條及有機物可減緩逕流，緩衝雨滴打擊力及攔截泥砂、污染物之功能，進而達到淨化水質之功能。都市植生保護區對營養鹽減少之機制參圖二十三。

圖二十三 都市植生保護區對營養鹽減少之機制

其他目的及功效

植生保護區提供環境、景觀、娛樂之功能及野生動物良好之棲息地、與溪岸穩定之功能。植生保護區歸納起來有以下幾項功效：

增加集水區透水面積，以增進土地滲透機能。

隔離市區不透水區與河溪之距離，以減少污染源流入水體。

減少開發區排水問題。

建立河道應有之流路及空間。

提供防洪控制功能。

保護溪岸之沖蝕。

增加房地產價值。

有效移除污染源。

提供現在及未來綠地之基地。

提供野生動物之食物及棲息地。

減少河溪溫暖化。

保護濕地。

防止陡坡地受擾動。

保護物種棲息地。

提供保護廊道。

保護兩棲類棲息地。

增進魚類棲息環境。

保護溪流源頭沖蝕。

提供暴雨調節池之空間。

提供未來復育之空間。

2.措施應用之條件

植生保護區幾乎可設於任何地點，但為提供非點源污染 BMP 措施的植生保護區其流經之暴雨地表逕流不可太大，以有效移除污染源，其提供 BMP 措施之植生保護區之篩選條件如表三十一。

表三十一 植生保護區提供 BMP 措施之篩選條件

3. 污染物移除效果

植生保護區對都市污染物的移除效果一般比農地小，因其暴雨流速及水量較大。都市地區的降雨很快會集中逕流，研究顯示，透水地區之層流能夠維持的最大距離約為 150 英尺，不透水地區為 75 英尺，故都市地區常有 90 % 以上的地表逕流在到達植生緩衝區前即已為集中逕流，故常需要有結構設施使雨水流入植生保護區內時達到減緩逕流，增加入滲及污染物攔截之效果。

營養鹽

在農地，15 英尺寬之植生保護區可減少 4 % 之氮，28.5 % 之磷，而 93 英尺寬之植生保護區則可減少 80.1 % 之氮及 77.2 % 之磷，但需維持水流在低流速之層流方可，故植生保護區之長期維護以防止指蝕或溝壑沖蝕是有必要之工作。

泥砂

適當之設計及維護可移除都市地區 75 % 至 95 % 之懸移質泥砂載，農地之植生緩衝區對泥砂移除效果在緩衝帶寬度為 15 英尺時為 61 %，緩衝帶寬度為 93 英尺時為 97.4 %。但實地上，都市地區之植生保護區對泥砂移除之效果相當有限，因其地表逕流流速一般都相當大。設計維護良好之植生保護區移除超過 50 % 的總懸移質泥砂載是可期待的。

重金屬及石油碳氫化合物

植生保護區在雨水為層流時對重金屬及石油碳氫化合物的移

除效果相當好，因植物吸收水中溶解性金屬之能力很強，尤其是鎘和鋅。

4.需移除污染物污染量的估算

一般植生控制及暴雨濕地對污染物移除的估算以磷為指標污染物，因磷可移除後，大多數之污染物亦可移除。污染物負荷之計算方法可用 Chesapeake Bay Method，公式如下：

$$L=P \cdot P_j \cdot (0.05+0.009(I)) \cdot C \cdot A \cdot 2.72/12$$

其中，L：污染物負荷（lbs/yr）。

P：平均降雨深度（inches）。

P_j：暴雨產生沒有逕流的無維校正因子=0.9。

I：不透水地百分率。

C：流量之污染物平均濃度權重（mg/l）

當 I < 20 %，對磷之 C = 0.26mg/l

當 I > 20 %，對磷之 C = 1.08mg/l。

A：開發地之面積（acres）。

計算其他污染源時只需代入 C 值即可。不同污染物之 C 值詳表三十二。

表三十二 Chesapeake Bay Method 之不同污染物之 C 值

而 Chesapeake Bay Method 計算污染源需移除量之詳細計算表
詳表三十三。

表三十三 Chesapeake Bay Method 計算污染源需移除量之詳細計算表

5. 規劃考量

植生保護區規劃之考量為其是否為保存已有之保護區或建立新的保護區，保護區是否位在常流河溪旁，保護區為草地或林地等。

溪邊之保護區需考慮周密性，將各級數溪流之兩側均建立保護區，以防污染物由小溪流流入水體內。且保護區面積應足夠大，以有效阻截污染物，一般保護區寬度離岸邊最小需有 100 英尺寬度，才能有效阻截污染物。

在 100 年洪水平原地、陡坡地、高受蝕性地、高滲透性地、水澤地、海底黏土地之敏感性土地、濕地邊緣及其他重要棲息地均需有較大面積之植生保護區。

6. 設計執行準則

植生保護區當 BMP 措施之設計主要考量為建立減少逕流速度，使其維持在層流之功能，以有效截除污染物。其設計及執行準則如下：

最小保護帶寬度

一般對溪流保護的最小保護帶寬度為 100 英尺，大概是溪流兩邊各有三至四行成木的寬度。

三區保護帶系統

溪案兩邊之保護帶設計準則，在側向上可分為未擾動森林帶、經營森林帶及逕流控制帶等三個區域，每個區域分別伴演不同的水質保護功能，並有不同寬度及管理機制。參如圖

二十四。

圖二十四 河濱森林保護帶三區系統機制圖

第一區：未擾動森林區

為溪邊之永久植生區，用於控制溪流之物化及生態穩定及溪岸之穩定以防止岸邊沖蝕，進而減少輸砂量，最小寬度需 25 英尺，本區嚴禁土地開發利用，但雨水渠道及一些公共設施、公路等則允許有限度使用，流入此區之逕流水均需由第二區處理過之水才可流入，不可有街道、溝渠之逕流水直接流入本區內。

第二區：需經營管理的森林區

所需寬度依溪流級序、100年洪水平原區、鄰近陡邊坡、及保護濕地等而定，主要功能為保護溪流主要的標的污染物流入水體內，並更有效隔離開發區與溪岸之距離，本區亦為成木林，可局部淨伐以供娛樂、暴雨排水經營使用。最小寬度為50英尺，依河溪級序、坡度、及現有重要棲息地而定。

第三區：逕流控制區

本區臨近開發區，最小寬度需25英尺，以沉積泥砂，減緩逕流、分散表面逕流，常為住家之後庭園之草地等區域。

施工時之保護區保護

施工時應先將保護區確認劃分出來，勿影響其功能，並要有適當阻截措施，以防施工期大量泥砂及逕流流入保護區內。

建立一新的保護區或修補既有的保護區

保存本土原生植物為最經濟有效的保護區設置方法，但有些土地劣化區本土種無法生長，仍需引進外來種進行補植。

選擇適當的植物

以原生種混植為宜，樹種選擇宜考慮之項目有：

- a. 提供濃密之地面覆蓋及根系網結以控制逕流污染之樹種。
- b. 氣候及立地條件適宜之樹種。
- c. 與既有景觀及既有植生相容性者。
- d. 維護容易。

e.樹木耐水、耐旱強度夠。

f.生長間距。

準備植生地點

對需補植地區立地之土壤如太密應挖鬆後再補植，如立地條件好，直接挖植、補植即可。

植生保護區成林前之維護

植生種植前幾年應予灌溉、修植、施肥以增進其生長。

維持保護區層流之機制

植生保護區內之水流需為層流才有阻截污染物之功能，故其與開發區之間需設置植生過濾帶如鋪面邊鋪石頭等以分散逕流，形成層流之流況，且流速宜小於 3~5 英尺/秒以下。

保護區穿越道路及休閒娛樂小道

最好設透水性、坡度平坦之小道以防止沖蝕，寬度也不宜太寬。

7.維護需要

植生保護區之淤砂及過長之雜草應定期清除，植物之生長情況應定期檢修，如有需要應予補植。

(二) 植生過濾帶

植生過濾帶是鄰近開發區的人工設計而成，用以移除或減少營養鹽、農藥、泥砂及懸移固體物等非點源污染。可為草地或林地，但要為平坦地使水流能為層流形態流經過以過濾污染物。其污染移除功能依植生過濾帶之寬度、坡度、土壤滲透性、逕流大小、流速

而定。都會區之植生過濾帶因其逕流流速較大，故過濾功能一般比農地小。典型的植生過濾帶如圖二十五。

圖二十五 典型的植生過濾帶

1.目的及功能

水質機制

污染物由滲透移入下層土壤內，懸浮固體沉積在低流速區，且在植生過濾帶內更經由植物吸收進行過濾的作用而達過濾污染物之功能。其中主要的污染物移除機制是滲透作用，滲透並可減少逕流量，在土壤顆粒大之地區其入滲機能較大。植生過濾帶的水質機制如圖二十六。

圖二十六 植生過濾帶的水質機制

減洪效益

植生過濾帶並有減洪效果，隨逕流時間、入滲率、過濾帶寬度而定。但對洪峰減少效果有限。

其他目的及功效

經由入滲可增加地下水補注，並提供野生動物棲息地，如過濾帶寬度達 600 英尺以上並可提供鳥類之棲息，河濱區之過濾帶則有穩定溪岸，防止溪岸沖蝕之功能。

2.策略應用條件

植生過濾帶在不透水面積很大之地區效果相當有限，當非點源污染移除淨化水質的 BMP 措施之植生過濾帶篩選標準如表三十四。其坡度最好勿超過 5 %，大於 15 % 將喪失過濾功能，且上游面積勿超過 5 英畝，以防止集中逕流產生，故植生過濾帶只適用於低密度開發區之水質過濾，對大面積開發之商業區其效果有限。

表三十四 當 BMP 措施之植生過濾帶篩選標準

3. 污染物移除效果

植生過濾帶對泥砂、有機質、追蹤劑金屬移除效果較佳，但溶解性高之污染物如氮等營養鹽則移除效果較差。植生過濾帶之寬度在 75 英尺時其過濾污染物之效果中等，但當寬度達 150 英尺時則污染物移除效果可大量提高，但對溶解性污染物如營養鹽氮、磷等之污染物，其移除效果僅達 2 至 5 成。

4. 污染物移除量的估算

計算法同為前述之 Chesapeake Bay Method，而過濾帶長度對泥砂移除之效果參圖二十七。

5. 規劃考量

植生過濾帶之規劃宜考慮維護經費及其持續性，包括刈草、指溝、蝕溝填補等工作並需持續進行，經費需求不大，一般過濾帶寬度應有 20 英尺以上，最好能達到 80 至 100 英尺寬為佳。

6. 設計及執行

維持層流及良好入滲率為植生過濾帶設計最重要的考慮因素，故需有以下考量：

過濾帶上游面需有淺石溝渠、木塊等分流設施。

過濾帶要密植，且根系固土效果要佳。

過濾帶坡度最好在 5 % 以下，不可超過 15 %，並以階段處理。

過濾帶上緣要等高使逕流分散流入過濾帶內。

圖二十七 過濾帶長度對泥砂移除之效果

水平分散式之植生過濾帶系統參如圖二十八。

圖二十八 水平分散式之植生過濾帶系統

植生過濾帶最佳配置的結構系統如下：

(1) 最小過濾帶之寬度需 20 英尺，坡度每增加 1%需增加 4 英尺，

最佳的過濾帶寬度約為 80 至 100 英尺。

(2) 植生過濾帶的坡度直接影響污染物過濾效果，坡度愈大，逕流速度愈大，則過濾效果愈差，其坡度最好在 5%以下，當坡度超過 15%時就失去過濾之功效。

土壤結構亦會影響過濾功能，孔隙愈大過濾效果愈佳。而使用適宜樹種如抗蝕、耐旱植物為良好之植生過濾帶樹種。

7.維護需求

植生過濾帶設立初期幾個月內應確保過濾帶植生的生長，過濾帶成型後事後之指蝕溝應排除，施肥應適當控制，並適當補植，枯水期應適當澆水灌溉。

過濾帶內淤砂亦應定期清除，區內發生沖蝕淘深之土地要填補，並補植死去之植物。區內草不要砍伐以維持其過濾功能。

(三) 草澤地(草溝)

草澤地為耐淹水植物之低窪地，用以攔蓄暴雨逕流。

1.目的及功能

水質機制

用以淤砂及入滲吸收溶解性污染物。

減洪效益

當暴雨調節池以攔蓄部分暴雨量。

其他目的及功效

提供野生動物棲息之機會較少，但可提供為濕地用及地下水補注區。

2.策略應用條件

適用在 BMP 措施的草澤地篩選條件如表三十五。

表三十五 適用在 BMP 措施的草澤地篩選條件

3.污染物移除效果

營養鹽

人工草澤地對 NH_3 及 NO_3 有 25%的移除效果，如都市逕流停留時間愈久則對溶解性之氮、磷之移除效果更佳。一個維護

設計良好的草澤地可移除 30 %的總磷及 25 %的總氮。

泥砂

草澤地對泥砂淤積效果甚佳，可達到 75%至 95%的效果，其效

果與坡度及糙度係數有關，草澤地之長度與泥砂移除效果參圖二十七。

重金屬

草澤地對重金屬之移除效果可達 50%，對金屬追蹤劑可達 50 %至 90%之移除效果。草澤地對移除重金屬比氮有效。

4. 污染物移除量估算

同樣使用 Chesapeake Bay Method 進行估算，該法對所有非工程植生控制措施均適用。

5. 規劃考量

維護所需成本及時間不多，與其他植生控制措施相似。

6. 設計及執行

設備之大小及形狀

設計時儘量減少渠道坡度。

增加河道濕潤周徑。

定期清除淤砂、剪草、清除岩屑以維持土壤滲透力。

密植生長慢之植物，以減少維護費。

草澤地之斷面形狀可為三角形、梯形或拋物線型，草澤地(草溝)之側坡低於 1 : 3，縱坡勿超過 5%。

使用適當的植物

使用抗蝕性、耐旱植物為宜。

節制壩

為使水流在草澤地內停留時間加長，可設計節制壩以減少沖蝕，增加入滲機會，草澤地使用節制壩之情形參圖二十九，草澤地內不可有沖蝕產生。

7. 維護及檢查

應定期除草、清淤、施肥，以維持其功能。

圖二十九 草澤地使用節制壩之情形

(四) 生物調節池 (雨水庭園)

生物調節池為都市地區收集暴雨逕流後，透過入滲流入土壤層內之設施，故在底層一般鋪有砂土濾層之一種工程方法 BMP 措施，設計上要有進水口、出水口等設施，故設計上較為複雜，生物調節池的概念參圖三十。

圖三十 生物調節池的概念圖

1.目的及功能

生物調節池為直接逕流流經過之低窪高入滲地之成木林地層,在此地層內透過植物、生物吸收、入滲、離子交換、微生物分解腐化,而達到淨化水質之目的。生物調節池含有六種主要成份,分別伴演淨化水質之功能,為:

草地緩衝帶:過濾逕流水污染物顆粒並降低逕流流速。

水池區:接收未經草地緩衝帶入滲流入土內之逕流水,暫時儲存其逕流水,以增加其滲入土層內之功能。

培植土層:由儲存的水及營養鹽提供植物生長所需之土層,並由其內之粘土吸收重金屬污染物。

砂床:提供進一步減緩逕流,增加入滲的功能,並防止土層阻塞滲透機能。

有機質層:為地表敷蓋層,以過濾逕流之污染物,防止表土淘刷,並提供微生物分解石化碳氫化合物及其他污染物之機制。

植物材料:由適宜樹種提供各種生態、污染物吸收功能,以進行營養物之生態循環。

2.策略應用的條件

生物調節池適用於任何都市開發及景觀配置使用,由於維護需要,生物調節池設施較適用於二英畝以上不透水面住宅區開發之BMP 措施使用。

生物調節池使用上之立地限制及條件如下,參圖三十一。

滲透率需大於 0.27 英呎/小時。

與建築物應有適當距離，以防飽和土壤層影響建築基礎、填方土坡、擋土牆、基地及其他結構物之安全。

距離岩盤或地下水位應有 2 英呎以上。

距離飲用水源應有 100 英呎以上。

設施與當地水道應在合理可見之距離內。

應避免成木樹需砍伐的位置。

避免設在陡坡地上。

圖三十一 生物調節池使用上之立地限制及條件

3. 污染物移除效率

一旦生物調節池之林木長成後，在商業區一典型的一英畝大小立地之污染物移除率，每年約為 2.4 至 4.8 磅的氮及 0.3 至 1.2 磅的磷，相當於移除 19.1%至 38.2%的總氮負荷及 18.4%至 73.5%的總磷負荷。而在砂及泥炭砂濾層系統之生物調節池，其磷移除效率為 50%。

4. 污染物移除量的估算

同樣使用 Chesapeake Bay Method 方法進行估算。

5. 規劃考量

在大面積土地開發前，生物調節池可先行開挖設置當沉砂池使用，俟工程完工後再修復整理。生物調節池需定期維護以確保其功能。生物調節池在有基流、土壤會常期飽和之地方不可設置。

6. 設計及執行準則

設施部分、大小及植生

傳統的生物調節池包含以下六種主要成份：

草生緩衝帶

水池區

培植土層

砂床

有機質層

植物材料

一具有功能的生物調節池最小寬度需 15 英尺，最小長度需 40 英尺。對於寬度大於 20 英尺之生物調節池，其長度最小需為寬度的 2 倍。最小寬度標準尤其重要，因其會影響到樹木及灌木分佈型態及森林群落的形成。一典型的生物調節池放樣圖參圖三十二。

圖三十二 典型的生物調節池放樣圖

當一個滲透用的 BMP 措施，生物調節池的最大水池深度不可超過 6 英吋，使積水能在 4 天內滲入土層內，以防培植土層通氣性不佳影響植物生長，並防止蚊蟲滋生。而培植土層的最小深度需 4 英吋，以提供土壤含水能力，並供根系發展之空間。植樹應混植，並選本土種種植。

入水口及暴雨設計

與其他植生功能的 BMP 措施一樣，生物調節池的水流需為層流流況，如無法達成則以蜿蜒方式處理。一般在暴雨逕流初期水深 0.5 英吋以下時之逕流將水引入生物調節池內，逕流水深超過 0.5 英吋以上時，則關閉生物調節池入口，將暴雨逕流另外引入暴雨排水溝內。

設於附近易到達地點

生物調節池應設於附近易到達之地點，以進行定期維護工作。

生物調節池過濾功能的設計考量

當所設立之生物調節池地點之滲透功能不佳時，應在底層加一層砂礫層埋管當暗溝，以排除當地暴雨排水，生物調節池的濾層設計概念圖參圖三十三。

圖三十三 生物調節池的濾層設計概念圖

二、暴雨濕地

暴雨濕地為適合沼澤植物生長的一個淺水池地，透過濕地的吸收、遲滯、沉積而達到污染物移除的功效。

1.目的及功能

水質機制

濕地長期以來即伴演處理公共、工廠、農業廢水的天然污水處理廠，其透過重力的沉澱，濕地植物的吸收、沉澱、生物

分解、轉化及入滲的作用而達到污染物移除，淨化水質的功能。濕地土壤之氮循環轉化過程可參圖三十四。

圖三十四 濕地土壤之氮循環轉化過程

其他目的及功效

暴雨濕地如水深夠深且在植生緩衝區邊，也提供督市地區野生動物及水鳥的棲息場所。

防洪功效

暴雨濕地由於其空間及入滲機能，也提供降低洪峰，減少洪水的機制。

2.策略應用條件

暴雨濕地一般在以下條件下才可行：

處理之集水區面積需小於 5 英畝。

枯水期需有地下水補注之基流量流過。

土壤滲透性能要適當，不可太高，也不可太低。

由於水淺，需有較寬廣的空間。

土地使用：一般多提供為多用途的 BMP 措施，如兼具排水之功能，以節省土地。

3. 污染物移除效果

暴雨濕地比傳統 BMP 工程措施對泥砂之移除效果稍高，而對氮的移除效果則較低。提高濕地移除污染物能力的因子有：

增加處理的逕流體積。

增加表面積。

增加流經濕地的有效流路。

提供逕流前處理及消能的設施。

多利用污染物移除的水道。

而降低濕地移除污染物能力的因子有：

非植物生長季節，造成低污染物移除能力。

集中逕流之入流量。

集水區濕地面積小於 2%。

濕地植生覆蓋稀疏。

受冰覆蓋或冰雪融化產生逕流。

依據資料，暴雨濕地對污染物移除之效果為：

總懸移固體物減少 75%。

總磷減少 45%。

總氮減少 25%。

BOD 及 COD 減少 15%。

鉛減少 75%。

鋅減少 50%。

細菌減少 100 倍。

4. 污染物移除的估算

同樣使用 Chesapeake Bay Method。

5. 規劃考量

成本

暴雨濕地施設之成本比工程方法 BMP 措施之乾池或濕池貴，因其空間需要較大，且需植生。

同意權

有些地區暴雨濕地之施設需要清潔水法部門的准許才可施設。

維護

初期維護費較高，後期則不必。

持久性

暴雨濕地的持久性依水深、植物生長強度等而定。

環境考量

暴雨濕地由於水淺，會造成下游溫度的增加，如水鳥太密集也

會造成細菌之污染。

6.設計及執行準則

一典型的暴雨濕地設計圖參圖三十五。

圖三十五 一典型的暴雨濕地設計圖

暴雨濕地的尺寸

為得到最佳的情況，暴雨濕地的設計需滿足以下六點之標準：

暴雨濕地之設計需有效攔截由督市開發區所產生之逕流量。

暴雨濕地之表面積與所處理之集水區面積需相對最小化。

暴雨濕地需隨不同標的水深區分配不同濕地的表面積。

暴雨濕地需隨不同標的的水深的濕地分配不同的處理體積。

設計者需確保濕地的水源補注比可能的損失率要大，以確保積水水位能維持。

設計者需使濕地對小暴雨有調節洪水的功能。

一般暴雨濕地的表面積愈大，對氮的移除效果愈佳，一般的準則是暴雨濕地的表面積為所處理之集水區面積之 2%至 3%。

深水槽提供沉積及蓄水功能

一般在暴雨濕地的前端設置深水槽以沉積泥砂並減緩逕流，而在暴雨濕地的出口亦設置反向坡度的深水槽以遲緩逕流流出。而其間則設置 10 至 20 英尺寬的淺水區當水棲植物生長。維持一定的水深區及最佳植生水深

暴雨濕地的另外一部分要維持較淺之水深，以維持植物正常的生長，一般在 6 英吋以下為宜。而另可分出約 25%範圍的 2 至數英尺深的淹水區當水鳥棲息生活使用。

建立濕地植物群落

濕地植物群落宜有適當歧異度並密植。

7. 維護

維持濕地各種水深的空間是必要的，以確保水質淨化的功能。維護工作包括清淤、刈草、補植等。

三、街道清除

街道清除為對都市地區不透水區如道路、停車場等以真空吸塵器或旋轉機械掃把將堆積在地面上的岩屑、泥砂、垃圾等污染物清除的有效方法，並可防止排水溝阻塞，故為暴雨雨水污染源控制措施的方法之一。

1.目的及功能

水質機制

透過物理性將街道上之污染顆粒清除，可減少污染源流入水體內，並減少水體之總固體及重金屬含量，並進一步恢復水棲生物的復育。也可減少污染塵飛到大氣中。

防洪效益

街道清掃無法降低暴雨洪峰流量，但可防止排水溝受阻塞，使雨水有效排除，減少不必要的積水。

其他目的及利益

街道清除也有助於娛樂休閒，改進市容景觀，並改善民眾在馬路上亂丟垃圾的壞習慣。也有助於行車安全，增進民眾呼吸系統健康，減少暴雨排水溝維護經費等多項功能。

2.策略應用條件

街道清除應儘量減少造成交通阻塞的機會，其清掃時間隨各地不同交通條件而定。

3. 污染物移除效果

街道污染物有以下三類：

天然物：灰塵、石礫、砂及樹葉。

碎屑物：垃圾、廢紙、瓶罐等。

污染物：細灰塵、工廠廢飛塵、車輛排放廢油等。

街道清除對水質改善有一定的效果，一般在濕季清掃效果更佳，或颱風、大量落葉時進行清掃。街道常見的污染源參表三十六。

表三十六 街道常見的污染源

但對一些更細的污染源移除效果則有限，實驗顯示街道清除對逕流之氮、磷移除效果相當有限。但對總固體含量及重金屬如每天清掃一、二次則大約可減少 50%的污染量，如每月只掃除一、二次則大約僅可減少 5%的污染量。街道路面污染源各種粒徑大小所佔百分比參如表三十七。

表三十七 街道路面污染源各種粒徑大小所佔百分比

為有效移除污染物，可進行以下街道掃除改進之方法：

機械式掃除機對細粒泥砂清除效果較佳。

吸塵式清除機對細顆粒沉泥清除效果較好。

機械式掃除機掃除後再配合真空吸塵式清除機清除，則效果最為顯著。

但清掃次數為該措施提供非工程 BMP 措施最大的問題。

4. 污染物移除量的估算

估算街道清除對污染物移除效果受到幾個變數的影響，包括街道污染物的型態及數量、清潔頻率、清潔效率、鋪面所在位置距水道之遠近等。

清除效率

估算街道清除之效益，其清除之效率最難估算，一般所知機械式清除機可清除約 50% 的總固體量，而真空吸塵器可清除高達 93% 至 95% 的總固體量。街道清除對粗顆粒污染物較有效，對細顆粒效果不佳，故對氮、磷之移除效果不佳。街道各種污染源、顆粒大小之清除效率可參表三十八(1)及表三十八(1)。

表三十八(1) 街道各種污染源、顆粒大小之清除效率

表三十八(2) 街道各種污染源、顆粒大小之清除效率
清除效率的影響及適用的污染源與其他影響效率的因子
清除效率對污染物移除的效果並非馬上顯現,而是長期累積才能看出其效果,並且街道的污染源亦只是集水區污染的一部分而已。

5. 規劃考量

街道清除之清掃設備要適當,且路面累積相當數量的污染物時其

清掃效益更為顯著。規劃時需考量以下幾個因素：

路邊停車場

研究顯示街道約 90%的污染物累積在路邊 12 英吋的地方，故路邊之停車如無法控制移用，將會影響清除效果。

人事及基金

每天清除路面為成功必要之條件，而建立人事及基金以清除路面為長期必要的工作。

監測及紀錄保持

街道清除後應有監測紀錄，以評估其成效。

6.設計及執行準則

設備之選擇

摩擦刷子及真空吸塵器為最常用的二種街道清除設備，一般適用的街道清除設備參如表三十九。

行程排定

清掃行程之排定比設備選擇更重要，以下為街道清除的行程：

判定街道容許之殘餘負荷。

估算街道長期之累積平均污染量。

由估計之累積量，決定最大之容許清掃時間間距。

一般住宅區至少一週掃一次，商業區及工業區至少一週掃一至三次。

7.計畫維護需求

定期檢查，以評估清掃效果。

做好清掃紀錄，以評估清掃效果。

清掃障礙之排除。

建立教育計畫。

表三十九 一般適用的街道清除設備

第四章 心得與建議

壹、心得

水庫淤積為台灣當前水資源管理亟待解決之問題，尤其在新水源開發日益困難的情況下，為必需面對的重要課題。

美國地區目前各水庫淤積情況還不嚴重，故尚無水庫淤積清除之問題，但由衛星定位測量（GPS）與聲納測深儀配合工作船組合而成的水庫淤積測量技術，速度快而精確，美國墾務局已將該測量系統用於水庫淤積測量，並引進國內，但尚未普及，值得吾人進一步落實該項測量技術。

水庫淤積物之清除及處理與再利用雖方法很多但成本大部分仍相當高，且其再利用情況需因地置宜，隨各個水庫之條件而定，以目前之相關處理技術，配合各種方法之綜合處理應為較可行的方向。

4. 美國維幾尼亞州所發展之都市非工程方法 BMP（Best Management Practices）措施為集水區水質管理之最佳技術，相當值得引進推廣，以有效執行集水區保育及管理業務。

貳、建議

有關水庫淤積清除及再利用之相關技術及經驗，日本及中國大陸有相當多的經驗可提供，建議將來赴國外研習該等技術時，以該兩地區為優先安排之國家，以吸取其他更先進的技術。

參考文獻

- 1.Strand, R.I.,and Pemberton,E.L.,1987."Reservoir Sedimentation, Design of Small Dams". United States Bureau of Reclamation. Denver.
- 2.Ronald L.Ferrari,1998."Reservoir Sedimentation Survey Course Lecture Notes. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- 3.PG&E's Technical and Ecological Services Department ,1997. "EVALUATION OF FLY ASH USED AT THE DRUM FOREBAY SEDIMENTATION MANAGEMENT PROJECT FOR ENVIRONMENTAL SUITABILITY".
- 4.Northern Virginia Planning District Commission ,1996. "NONSTRUCTURAL URBAN BMP HANDBOOK — A GUIDE TO NONPOINT POLLUTION PREVENTION AND CONTROL THROUGH NONSTRUCTURAL MEASURES".
- 5.王文江 , 1995 ,「中國大陸西北地區水庫清淤方式對台灣水庫適用性之探討」, 中興工程科技研究發展基金會。
- 6.王文江 , 1996 ,「中國大陸水庫清淤方式對台灣水庫適用性之探討」, 中興工程顧問社。
- 7.王文江、蔡長泰 , 1998 ,「台灣水庫清淤之研究」, 水庫永續利用研究計畫成果研討會 , 台北。
- 8.內政部 , 2000 ,「營建剩餘土石方處理方案」。

附 錄

- 附錄一 台灣地區現有六十九座水庫淤積情形統計表
- 附錄二 美國地區現有各水庫淤積情形統計表
- 附錄三 BMP 措施的準備—整合性集水區經營規劃指南及溪流
水質調查項目表