

第一章 淨水處理系統原理

淨水處理系統是由各種不同功能的淨水設施所組成，將水源淨化後產生符合水質標準且安全適合飲用的自來水。操作人員必須進行各淨水設施處理水量與處理水質之妥善操作管理，否則將會影響整體淨水處理系統的運轉，而無法達到設置淨水處理系統所期望的功能。各項淨水設施應該在水力結構、化學物理性質、機械及電力運轉上充分配合協調，才能使得操作管理更為有效及便利。

淨水場設置時視水源的狀況、原水水質及水量來決定淨水方法。淨水處理系統的類型一般有加氯消毒法、慢濾法、快濾法及特殊處理法等。

由於各水源狀況不同，淨水方式也不盡相同，操作人員除了對處理設備原理及操作方式應有相當的認識外，處理設備效率的好壞，最終呈現在處理水質是否符合規範，操作人員對於相關法規標準也應有相當的認知，才能有效掌控水處理設備的處理效率。

名詞解釋：

膠羽：水中加入混凝劑攪拌混合後，與水中膠體粒子經凝聚作用聚集形成具黏性之小顆粒稱之為膠羽。通常膠羽間也會繼續凝聚成長變大，並於後續沉澱或過濾程序中去除。

膠凝作用：指藉由機械或水力方式使得水中有機物、混凝膠羽或某些微生物體相互碰撞，凝聚成較大的個體而增加其沉降速度之過程。

溢流率：指單位時間內沉澱水池每單位表面積通過之水體積，通常為 m^3/d ，屬沉澱池設計規範參數之一，代表涵義為沉澱池中微顆粒隨水流向上之速度。

反沖洗：快濾池操作程序之一，當快濾池損失水頭、過濾水濁度達到限度或經過一定間隔時間或有其他原因時，將清水自濾池出水管經集水設備逆流而上攪動濾床，使濾床內之濾料產生懸浮狀態相互摩擦，濾料間膨脹形成通路，膠羽或阻塞濾床的物質經此通路，隨反向水流流出而達到濾層清洗目的。

濾率(濾速)：水處理流經過濾層的速度，也就是一定時間內通過單位面積濾層的水量，單位為 $m^3/m^2 \cdot d$ ，可化簡成長度單位 m/d 。

濾程：濾層於前一次反沖洗砂後，直到濾層再次遭受雜質阻塞需要再次洗砂，兩次反沖洗砂之間所經過的時間稱為濾程

1.1 淨水處理系統種類

目前淨水處理系統依淨水處理的方式及水質的需要，可分為快濾系統、慢濾系統、快濾筒系統、加氯消毒系統及特殊處理系統等。

一、快濾系統

處理水量較大時，較常使用快濾系統。快濾系統藉由加藥混凝及沉澱等預先處理，將懸浮於水中的微小固體，例如有機物質、黏土質、細菌、藻類等懸浮濁度微粒，先凝集形成顆粒較大的膠羽後，先經過重力沉澱去除，再由快濾池進行過濾，而原水水質穩定且濁度較低時，也可以實施直接過濾。快濾系統基本處理流程如圖 1-1。

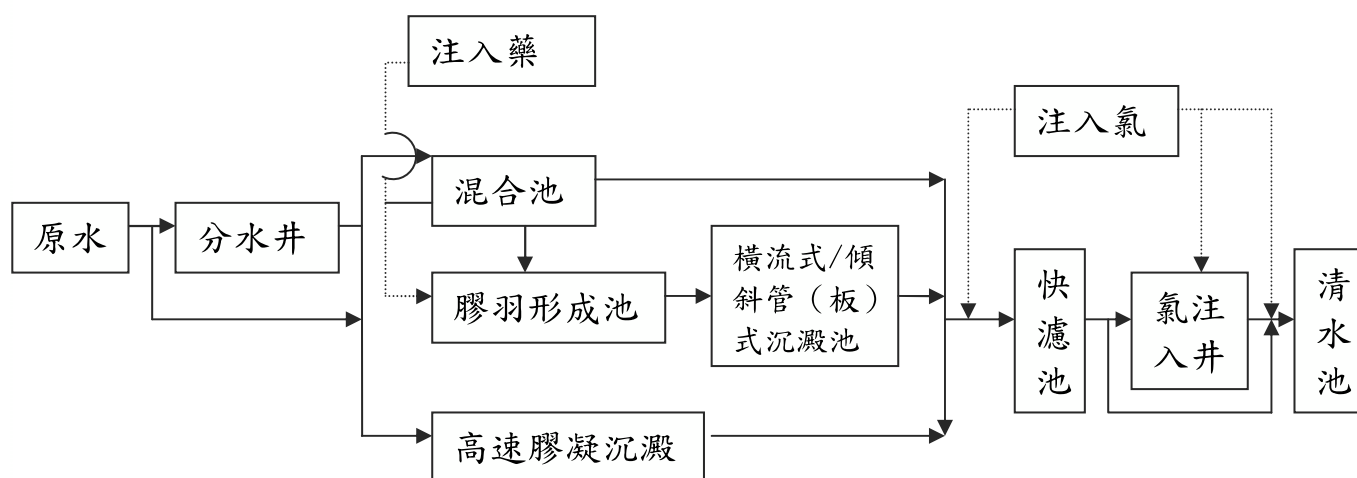


圖 1-1 快濾系統基本流程圖

二、慢濾系統

慢濾法用在原水水質良好、濁度低的情況下。濾砂層的過濾率度較慢，約為 4~5m/日，濾砂表層會繁殖微生物群，因此水中懸浮物質會被捕捉，溶解性物質也會被氧化分解，進而達到水質淨化的目的。慢濾系統基本處理流程如圖 1-2。

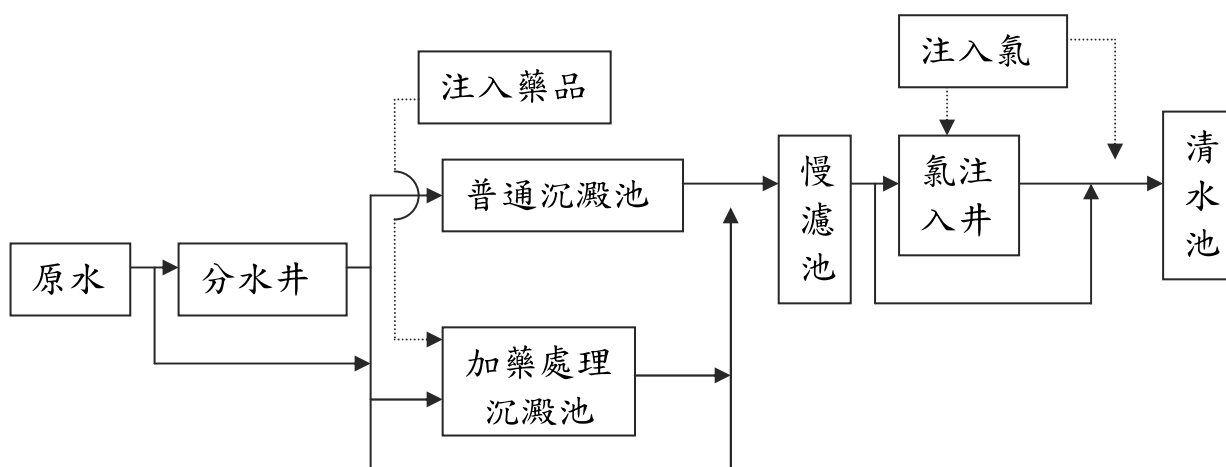


圖 1-2 慢濾系統基本流程圖



圖 1-3 淨水場快濾池

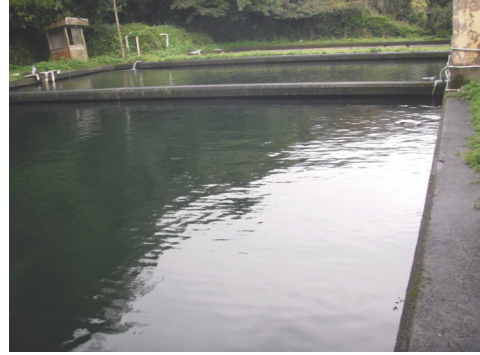


圖 1-4 淨水場慢濾池

三、快濾筒系統

若原水水質穩定且濁度較低時，可以採用快濾筒直接過濾方式。另為節省操作人力，目前多數快濾筒為無閥式快濾筒（圖 1-5），當水頭損失到達一定程度時，利用虹吸作用啟動進行自動反沖洗砂。

四、加氯消毒系統

水質非常穩定良好的地下水、湧泉等水源可採用此淨水方法（圖 1-6），處理流程及維護管理較為單純。加氯消毒系統基本處理流程如圖 1-7。



圖 1-5 無閥式快濾筒



圖 1-6 直接加氯消毒法

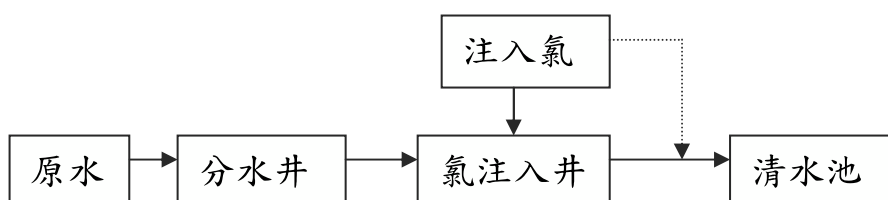


圖 1-7 加氯消毒系統基本流程圖

五、特殊處理系統

一般淨水處理方法無法完全去除色度、臭味物質、三鹵甲烷前驅

物質、亞硝酸鹽、陰離子界面活性劑等，必須使用活性炭處理、臭氧處理等特殊處理方法。此外，當原水中存在大量的鐵、錳、腐蝕性碳酸鹽等狀況時，則須有前氯處理、曝氣處理、鹼劑處理等。

無論採用哪一種處理方式，都必須加氯消毒，因為沉澱與過濾法無法將原水中的細菌完全去除，且為確保在配、給水管線系統送水過程中的衛生安全性，採用加氯消毒，可利用餘氯的特性，達到上述的目的，因此，自來水水質標準要求自來水殘留自由餘氯濃度須大於 0.2mg/L。

1.2 處理單元基本原理及功能

一、快濾系統

(一) 沉砂池

沉砂池如（圖 1-8）雖不屬於淨水設備，但為避免比重較大及大顆粒物質如礫石、砂等進入淨水系統，在淨水系統處理程序前端多設有沉砂池，降低淨水處理系統不必要之負荷或造成設備損壞。

(二) 分水井及流量計

分水井（圖 1-9）及流量計亦不屬於淨水設備，由於大型淨水場設有多套淨水處理設備，為控制操作各套淨水設備，需設分水井控制各套設備之進水量，或維修時期截斷水流。同時於分水井後之各套進水管路上，設置獨立量水設備，以便準確量度各套淨水設備之處理水量。



圖 1-8 淨水場沉砂池



圖 1-9 淨水場分水井

(三) 混凝膠凝設施

混凝膠凝程序為一般傳統淨水程序的第一道程序，其目的在破壞水中懸浮微顆粒間的穩定性，使其碰撞凝聚後粒徑變大，再利用重力沉降去除。混凝設施由混合池及膠羽池所組成，混合池

又稱為快混池 (Rapid mixing chamber)，膠羽池又稱為慢混池 (Slow mixing basin)。膠凝為快濾系統中重要的一環，利用快混混合與慢混形成膠羽二階段完成膠凝作用。混合階段係將混凝劑加入原水中，快速攪拌使藥劑快速均勻擴散，並使懸浮物接觸形成微小膠羽；膠羽形成階段則是以緩速攪拌使微小膠羽相互碰撞後形成粗粒膠羽。因此，若無法產生適當的膠羽凝結，便無法充分發揮沉澱效果，故需確實掌握與了解膠凝作業及功能。



圖 1-10 迴流式混合池



圖 1-11 水平軸式膠羽池

(四) 沉澱池

沉澱池功能為膠羽形成後，藉流速差使膠羽於池中沉澱。大部分沉澱池為鋼筋混凝土構造，形狀以長方形較多，也有設計為圓形的沉澱池，近年來由於用地難覓，許多研究朝向增加沉澱效率以減少用地面積進行，例如研發多層沉澱池、傾斜板沉澱池、沉澱管沉澱池及高速膠凝沉澱池等設施。

在傳統淨水程序，混凝沉澱若操作得宜，可減輕快濾池的操作負荷。沉澱池有多種沉澱型式，可歸類如表 1-1：

表 1-1 沉澱池型式

沉澱池	水平流式沉澱池	一般水平流式
		多階層式
		中間引拔式
	傾斜板(管)式沉澱池	水平流式
		上向流式
	高速混凝沉澱池	泥漿(Slurry)循環型
		污泥毯(Sludge blanket)型
		複合型

（五）快濾池

過濾是一種去除固體顆粒的水處理操作單元，過濾操作的效能與前處理有很大的關連。

過濾的主要機制為固體粒子附著及物理濾除。固體粒子附著發生在深層過濾，固體粒子在多孔濾床中游移，因為固體粒子與濾料間電性與靜電作用等的影響，使得固體粒子附著於濾料顆粒上而自水中去除；物理濾除則為固體粒子太大無法通過濾料孔隙而被攔截去除。當固體粒子極小於孔隙時，附著作用較物理濾除來的重要。另外過濾亦包含或多或少的微生物效應，成熟的濾床，微生物會在濾料表面形成生物膜，具有分解有機物的作用。

小心管理過濾率度是維持優良過濾水質的關鍵，近二十年來，由於發生隱孢子蟲及梨形鞭毛蟲穿透的問題，嚴格控制各快濾池出水濁度於 0.1 NTU 以下，已成為傳統淨水程序水質控制之追求目標。



圖 1-12 傾斜管式沉澱設備

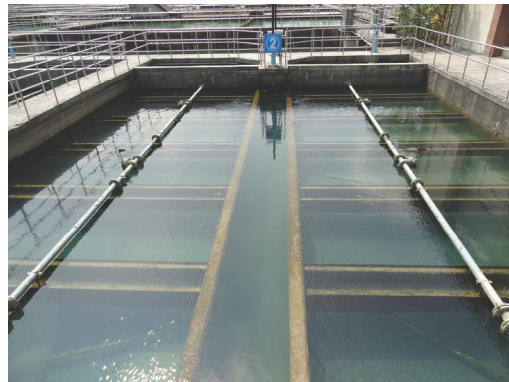


圖 1-13 快濾池設備

（六）清水池

清水池是淨水設施最終階段的設施，具有擔負淨水場過濾水與送水系統間緩衝作用；其功能包含：維持淨水場接近一定且穩定出水量的操作，可使整體操作正常且經濟；可確保加氯消毒停留時間，穩定消毒效果；過濾池如有漏砂或其它懸浮物時，在清水池內沉澱。具大貯留量配水池的功能，應考量事故應變所需備用而貯留的水量；可補助配水系統中配水池的容量。

二、慢濾系統

慢濾池的淨水功能，以生物作用為主(Biological activity)。原水中的有機雜質及微細生物包括細菌等，過濾時附著於砂層表面，微生物即利用這些有機雜質作為營養持份而繁殖，形成黏性膠質層，便可吸附細菌及其他微小雜質，此黏性膠質層即所謂微生物

濾膜。利用濾膜的物理、化學或生物作用，將原水中的懸浮物質、細菌及氮、錳或臭味等溶解性物質予以排除或加以分解，因此必須努力營造這些微生物的生活條件，以確保慢濾池的功能，慢濾池避免預氯處理，其原因即在此。濾膜太厚時滲透能力減退，水頭損失增大，就須停止過濾，將濾膜及表面濾砂刮除，再重新操作。

適於慢濾池的原水，以濁度為首要考慮條件，濁度要穩定而且不宜太高，一般以年平均濁度在10 NTU以下，最高不超過30 NTU，生化需氧量(BOD)在3以下，大腸桿菌群應在5,000 (MPN/100mL) 以下，因為原則上不得實施預氯處理，所以細菌總數(MPN)不宜太大。慢濾池的淨水效率與原水水質、濾砂粒徑，均勻係數、水溫、濾率及操作方法都有關係。操作正常的慢濾池可以除去全部懸浮物質及98% 以上的細菌，但對色度的去除能力較差，僅約30~40%。由於細菌不能用過濾完全去除，過濾水應消毒後再送入配水系統。

三、快濾筒系統

原水水質穩定且濁度很低時，可以設置快濾筒實施直接過濾。快濾筒利用槽體內部多層濾材將山泉水、河川水中之懸浮固體物等過濾處理到一定程度以下，以達到淨水使用要求。由於設置地點多為偏遠地區，為減少操作人力，近年普遍以設置無閥式自動反沖洗快濾筒為主。

無閥式自動反沖洗快濾筒利用原水進入快濾筒上端之高位槽，待水位上升至入水口頂，即由入水管流入快濾筒下部之密閉過濾槽，由上至下通過無煙煤、濾砂及濾石所組成之過濾層後，流入底部集水裝置，再經連通管向上送至反沖洗水貯留槽，待反沖洗水貯留槽清水水位高於出水口時，其餘清水經由出水管流至清水池，完成過濾處理。

原水流經濾材時，將水中懸浮固體阻隔於濾材，達到過濾效果。過濾持續進行時，壓力損失增加，部分原水向上進入虹吸管部位，虹吸管內水面上升達到並越過最高位置時，產生虹吸現象，自動將虹吸管中空氣吸空成為負壓，水急速被吸入虹吸管中，後由排水管排出。此時虹吸管中流量約為原水流量的4~5倍，使得過濾槽內壓力急速減少，將反沖洗水貯留槽中原先貯留之清水，經由連通管和集水裝置反向由下至上流入過濾槽，促使濾床膨脹而開始洗淨過濾材，反洗廢水同時排出筒外。反洗動作持續進行至虹吸管下端及上端有空氣進入而破壞虹吸作用為止，接著繼續進行下一循環的原水進水與過濾。

四、特殊處理系統

（一）曝氣設備

曝氣設備主要目的是去除地下水中三氯乙烯、鐵、臭味、二氧化碳等物質，藉由水與空氣充分接觸，水中揮發性物質逸散出來，或水溶性物質與空氣中之氧作用形成氧化物而去除。自來水淨水場氣曝設施大多用來處理含有過多揮發性有機化合物及二氧化碳的地下伏流水水源。曝氣方式則有噴水式、填充塔式等種類。

自來水工程設施標準對曝氣設備相關規範包括：為氧化原水中鐵、錳，除去二氧化碳、硫化氫等腐蝕性物質及臭味之生成物質等，應有適當處理設備；處理方式，應依其目的、原水水質、其他擬採用處理方式、抽水情形、空氣需要量、對污染之防範、當地環境等加以研究選定。如使用曝氣不經過濾時，曝氣設備應設有覆蓋，按需要裝設抽風設備，並應考慮防止昆蟲及藻類之生長及污染。對於除鐵錳之處理規定包括：溶於水中之鐵錳先用氣曝、預氣處理或加藥等方法加以氧化；經氧化之鐵錳，其去除方法與一般濁度之去除相同；加藥、膠凝、沉澱、過濾等設備之選用，主要應視水中鐵錳含量之多寡及其型態而定；鐵錳之去除，必要時應經試驗確定其最有效方法，作為設計之依據。

（二）臭氧處理設備

臭氧是3個氧原子組成之分子，分子式為 O_3 ，具強力之氧化電位，利用其超強之氧化能力，可對臭味物質、色度及酚類有效去除。此外，也可以臭氧先行處理生物難分解之有機物，有利於提升後段生物活性碳處理效率。

但是原水中若存在含溴離子之狀況，經臭氧處理將增生溴酸鹽，溴酸鹽之生成受水中含溴離子濃度、臭氧注入量、水溫、共存物質（如含氮有機物）及pH所影響。因此，為抑制溴酸鹽之生成，必須注意注入過量臭氧。溶於水中之臭氧，若無氧化對象，將快速自行分解，自行分解速率因高水溫及高pH而加速。臭氧逸散於空氣中嚴重刺激身體黏膜部位，主要影響細支氣管肺泡，造成肺氣腫等健康危害，因此臭氧排放方式須適當處理。

淨水處理程序多應用空氣為製造臭氧之原料，必要設備係由原料供氣裝置、臭氧產生機、接觸槽及逸散破壞裝置等構成，臭氧一般由無聲放電激發產生，操作上應對於臭氧製造機之電力、冷卻水溫、原料氣體（空氣或純氧）取用量、吸入壓力及狀態（氧氣濃度、溼度、雜質等）做適當之管理。

（三）活性碳吸附設備

活性碳處理通常針對混凝沈澱、過濾處理設施所無法去除的

臭味物質、陰離子界面活性劑、酚類、三鹵甲烷及其前驅物質、農藥、三氯乙烯等有機物質加以去除。

活性炭處理分類上包括粉末活性炭處理、粒狀活性炭處理及生物活性炭處理。粉末活性炭處理是指經 $75\mu\text{m}$ 篩網篩選殘留 10% 以下之粉末狀活性炭，直接注入既有淨水處理設施，適用於短時期緊急應變之措施。粒狀活性炭處理通常所使用的活性炭調整粒徑在 0.3~2.4mm 之間，專用於吸附槽處理所需，屬長時期經常處理之設施。粒狀活性炭處理設施可分為固定床及流動床兩種方式。生物活性炭處理是指粒狀活性炭吸附作用外，額外增加活性炭層內的微生物，可利用微生物進行有機物分解作用，延長活性炭吸附效能的時間。

(四) 生物處理設備

生物處理係利用微生物之氧化分解作用，原水的淨化處理包含生物接觸過濾裝置，沉浸濾床接觸裝置（蜂巢狀）及生物旋轉盤法等。

生物處理法對於氨氮、臭味、鐵、錳、陰離子界面活性劑等污染具有去除效果，但微生物的活性很難以人為控制，所以當操作條件已適當設定，若無必要不應頻繁變更操作條件。處理效果受水溫、pH、營養鹽濃度、水中溶氧量及接觸時間等因素影響。

五、廢水及污泥處理設施

廢水及污泥處理設施主要係將淨水處理過程中相關排出物進行處理，包含沉澱池的污泥、過濾池的反沖洗廢排水等。廢污處理先將排水中的固液體進行分離，分離後之液體，重新返送淨水系統再利用，或在符合環保規定下，排放至公共水域；固體部分產生污泥餅，可做有效利用處置。

廢水及污泥處理設施的操作管理應與淨水處理互相搭配，對於每年處理水量及原水狀況等可能產生的污泥量應加以推估，並依不同季節及月份訂定處理計畫。此外，颱風暴雨等可能造成高濁度原水的季節，應特別注意處理設施的正常運轉；此外，沉澱池、濃縮池等池內污泥如長期堆積，應注意污泥腐敗問題。

在廢水及污泥處理流程中的設施有廢水池、污泥調節池、濃縮池、晒乾床與機械脫水設備等，以下簡要說明：

(一) 廢水池及污泥調節池

反沖洗廢水及沉澱池污泥排出後，先進入調節池進行濃度調整，廢水池為收集貯存快濾池反沖洗砂廢水用，污泥池則為收集貯存沉澱池所排出之廢水污泥。廢水池之廢水除回收至分

水井予以再利用外，其沉降污泥則流進污泥調節池。

（二）濃縮池

濃縮池之目的在提高污泥濃度，亦即降低廢水含水率，主要為減少污泥容積並有利後續脫水作業。膠凝沉澱池所產生污泥之主要成份為親水性之氫氧化鋁，含水率高而且不易濃縮，通常以加酸凝聚處理；加酸處理後上澄液之pH 值需經調整後始可放流或回收。排泥管及廢水管口徑、流速、坡度及水位關係均須適當考慮，防止污泥沉積不易排除。

（三）脫水設備

脫水之目的，在使淨水場排出污泥之含水量降低至容易處置之程度。脫水之方法有機械法與自然乾燥法兩種，一般所謂脫水設備狹義而言僅指機械脫水而言。

1. 自然乾燥設施-晒乾床（圖1-14）

經污泥池或濃縮池濃縮後之污泥，排入晒乾床，藉上澄液排除及往下滲濾，靠日晒蒸發而使含水率降低。晒乾床方法適合排泥頻率少，場地環境、氣象條件均佳，且用地容易取得之小型淨水場。大型淨水場如能取得用地，在原水濁度高時，亦可採用晒乾床，可兼作污泥貯留設備之用。晒乾床所需之面積與乾燥日數，依污泥負荷量（單位面積之污泥處理量）、污泥餅含水率、污泥性質、氣候及氣溫等氣象條件、場地環境、晒乾床之構造等而異。為促進污泥之乾燥，晒乾床須有上澄液排出裝置、下部集水裝置、空氣注入裝置，如天候上之需要，可設置遮雨頂棚。

2. 機械脫水設施（圖1-15）

機械脫水設備主要者為脫水機，以及為提高脫水效率之前處理等廢水處理設備。為提高濃縮效率或脫水效率，選擇機械脫水設備前處理方式時，須注意對淨水作業的影響、用地及環境條件、污泥特性、泥餅之性質與最後處置方法、脫水機類型、能力與運轉時間及穩定性。由於前處理方式不同，濃縮上澄液及脫水濾液之性質會不同，如將液體回收返送至分水井時，需確認是否造成淨水設備的負荷或水質變化。污泥之特性因原水水質及所用之混凝劑而異，污泥一般為粘土、腐質土、膠質、氫氧化鋁、微生物及其他有機無機物質等成分所構成，並成為含水量甚高之膠狀，前處理方式隨以上各成分含量之不同而異。污泥餅之最後處置方法取決於污泥餅性質，污泥餅用於填土時，須注意污泥餅溶出成分對環境之影響；脫水處理應充分考慮脫水機之類型、能力

與運轉時間，尤應注意防止因前處理設備發生故障而降低脫水機之效率或增加脫水機之運轉時間。

3. 脫水機的分類

脫水機依其構造原理，可分類為加壓脫水機、真空脫水機、離心脫水機等數種。

- (1) 加壓脫水機對污泥施以機械壓力，污泥經壓榨而脫水。加壓脫水機依其構造又可分為：過濾壓縮型、傳動帶壓縮型、螺旋壓縮型。加壓脫水之前處理分為加注石灰及無加藥方式，前者之脫水效率良好，但產生污泥餅之pH 值高，對污泥處置形成問題，所以較常使用無加藥方式。在自來水所使用之加壓脫水機，以過濾壓縮型者較常見。
- (2) 真空脫水機由外側敷設濾布之圓筒與真空裝置所構成，使圓筒內部產生負壓，則表面之污泥經濾布而脫水。真空脫水機依圓筒內部構造分為多室與單室二種，多室脫水機為在圓筒上固定數列小水溝，連接水溝之導管對著圓筒之側面開口。圓筒與導管一起回轉，其開口部與真空室內之間隔為溝之一部分，變成真空之後吸著污泥而完成脫水。回轉更快則導管開口部會進入壓縮空氣，之後在溝部分注入壓縮空氣，使污泥從濾布上剝離。為防止濾布堵塞，使濾布之一部分由圓筒分離，設置成剝離捲筒者頗多。真空脫水機有必要使用石灰等助劑進行前處理。污泥之性質及脫水前處理對污泥餅之含水率影響很大，泥餅含水率約在60~80%左右。
- (3) 離心脫水機為將經加注聚合物（高分子膠凝劑）等前處理完畢之污泥餅供給回轉下之圓筒（drum），利用離心力使固體與液體分離之方式。一般自離心脫水機排出之污泥餅，其含水率為60~80%。



圖1-14 淨水場污泥晒乾床



圖1-15 淨水場污泥脫水機

參考文獻及資料

1. 自來水設施維護管理指南 中華民國自來水協會 2008
2. 自來水設備工程設施標準解說 中華民國自來水協會 1996
3. 自來水設施操作維護手冊 中華民國自來水協會 1993
4. 衛生工程給水(自來水)篇 高肇藩編著 1980.9
5. 自來水及下水道工程 駱尚廉 楊萬發 曉園出版社 2006.10
6. 臺北自來水事業處自來水設備維護手冊 臺北自來水事業處
7. 公館、長興、陽明淨水場
污泥處理設備工程-機電工程 麗正國際科技股份有限公司
8. 臺北自來水事業處淨水科各淨水場儀控
相關設備改善工程操作維護手冊上、下冊 佳洛系統工程有限公司
9. 臺北自來水事業處工程總隊
「山豬湖水源快濾處理機電工程新設快濾筒操作維護說明書」
邦成企業股份有限公司
10. 臺北自來水事業處
「陽明場自動加藥及水質偵測改善工程操作使用手冊」
瑞豐科技有限公司
11. 臺北自來水事業處高級水處理
試驗廠新設工程教育訓練講義 尚磊科技股份有限公司
12. 經濟部 101 年度全國性自來水事業技術人員考驗管理人員考驗規範