

# 第6章 給水工程

## 從源頭到水龍頭：給水工程全景

核心摘要：確保安全、充足、可靠的供水系統

重點事實：🌿 保障公共衛生 🏠 支持經濟發展

### 1. 水源取水

- 確定水量水質，高效取水。
- 水源選定考量
- 地表地下水
- 兼顧生態保護



### 2. 淨水處理

- 多元工藝，轉化潔淨水。
- 工藝選擇多樣
- 混凝沉澱過濾
- 高級氧化膜濾



### 3. 輸配水網

- 高效管道網，確保壓力水質。
- 長距離管道網 20-30年預測
- 水壓穩定管理
- 滿足消防需求



### 4. 智慧永續

- 智能管理，節水防災應變。
- 水質全程監測
- 節水防漏控制
- 物聯大數據應用



資料來源：給水工程第6章

給水工程是水資源工程的重要分支，專注於設計、建造和維護供水系統，以確保為居民、工業和其他用戶提供安全、充足和可靠的水源。這個領域涵蓋了從水源選擇到最終用戶配送的整個供水過程，結合了水力學、水文學、水質工程和環境工程等多個學科的知識。給水工程的首要任務是確定合適的水源。這可能包括地表水（如河流、湖泊和水庫）、地下水或海水。水源選擇需要考慮水量的充足性、水質的適宜性以及開發成本等因素。水源保護(source water protection)是確保長期水質安全的關鍵措施，包括建立水源保護區、控制污染源等。

取水工程是給水系統的起點，包括取水口、取水泵站等設施的設計和建設。對於地表水，需要考慮水位變化、泥沙淤積等因素；對於地下水，則需要合理布置水井，防止過度開採。取水設施的設計要兼顧取水效率和生態環境保護。

原水輸送系統將水從水源輸送到淨水廠。這通常涉及管道系統的設計，需要考慮水力條件、地形特點和能耗等因素。在某些情況下，可能需要設計加壓泵站或調蓄水池來保證輸水的穩定性。

淨水處理是給水工程中最為複雜的環節之一。淨水工藝的選擇取決於原水水質特性和處理目標。常見的處理單元包括混凝、沉澱、過濾和消毒。近年來，高級氧化工藝(advanced oxidation processes)、膜過濾技術等新型處理方法在處理新興污染物方面顯示出良好的效果。淨水廠的設計需要綜合考慮處理效率、運行成本和環境影響等因素。配水系統負責將處理後的清水輸送到最終用戶。這包括輸水幹管、配水管網、蓄水池和加壓泵站等設施。配水系統的設計需要滿足用水量、水壓和水質的要求，同時考慮消防用水等特殊需求。水力模型(hydraulic modeling)是配水系統設計和優化的重要工具，可以模擬不同運行條件下的水流分配和水壓變化。

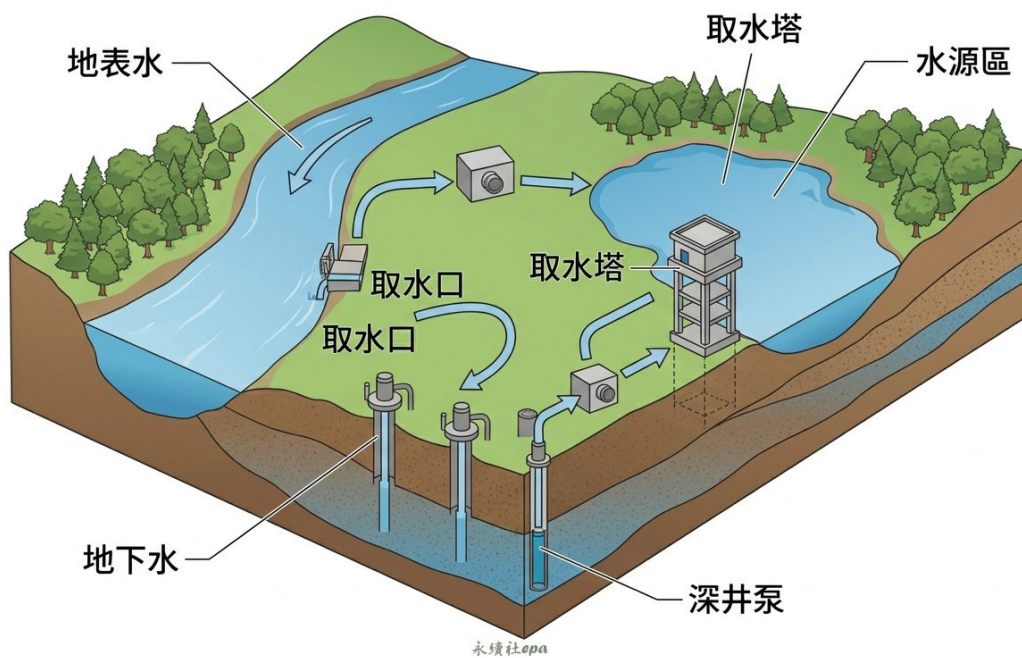
水質監測和控制貫穿給水工程的各個環節。這包括水源水質監測、處理過程監控和管網水質監測。線上監測系統和水質預警模型的應用提高了供水系統的安全性和可靠性。水安全計劃(Water Safety Plan)是一種全面的風險管理方法，旨在識別和控制從水源到用戶整個過程中的潛在風險。

節水和管網漏損控制是給水工程中日益重要的方面。這包括採用節水型器具、中水回用系統的推廣，以及管網漏損檢測和修復技術的應用。智能水表和區域計量分區(District Metered Area)等技術為用水管理和漏損控制提供了有力工具。

智慧水務(smart water management)是給水工程的新趨勢，它結合了物聯網、大數據分析和人工智能等技術，實現供水系統的智能化管理。這包括實時監測、預測性維護、需求管理等功能，有助於提高系統效率和服務質量。

給水工程還需要考慮應急供水和抗災能力建設。這包括備用水源的規劃、應急供水設施的建設，以及供水系統的抗震設計等。氣候變化帶來的極端天氣事件增加了供水系統的不確定性，因此需要採取適應性管理策略。

給水工程在保障公共衛生、支持經濟發展和改善生活質量方面發揮著重要作用。通過不斷創新和技術進步，給水工程正在為建設更加安全、高效和可持續的供水系統做出貢獻。



## 6.1 水源選擇與取水工程

水源選擇與取水工程是給水工程中至關重要的第一步驟。在規劃供水系統時,選擇適當的水源並設計有效的取水設施對確保穩定、安全的供水至關重要。

水源選擇首先需要考慮水量的充足性和穩定性。工程師們需要評估各種潛在水源的水文特徵,包括河流、湖泊、地下水和雨水收集等。他們會分析長期水文數據,預測未來水量變化趨勢,以確保選定的水源能夠滿足當前和未來的用水需求。水量評估還需要考慮季節性變化和極端氣候事件的影響,以確保在乾旱期間仍能維持供水。

水質是另一個關鍵考慮因素。不同類型的水源具有不同的水質特徵,這直接影響後續的淨水處理工藝。例如,地表水通常含有較多的懸浮顆粒物和有機物,需要更複雜的處理過程;而地下水可能含有較高濃度的礦物質,需要特殊的軟化處理。工程師們需要進行的全面的水質分析,包括物理、化學和微生物指標,以評估水源的適用性和所需的處理程度。

水源的位置和可及性也是重要的考慮因素。理想的水源應該靠近供水區域,以減少輸水成本和水損失。然而,在城市化地區,優質水源可能位於較遠的地方,這就需要權衡輸水成本與水質之間的關係。地形條件也會影響取水工程的難度和成本,例如山區水源可能需要特殊的取水設施設計。

取水工程是將原水從水源輸送到淨水廠的關鍵環節。根據水源類型的不同,取水設施的設計也有所不同。對於河流取水,常見的設施包括岸邊取水口和河中取水塔。岸邊取水口適用於水量較小的河流,通常設置在河流凹岸處,以利用自然沉砂作用改善進水水質。河中取水塔則適用於大型河流,可以在不同水位條件下靈活取水,並具有較好的防洪能力。湖泊和水庫取水通常採用多層取水塔,這種設計允許從不同水深取水,以適應水質的垂直分層變化和季節性變化。例如,在夏季可以從較深、較涼爽的水層取水,避免藻類繁殖帶來的問題。

地下水取水則主要依靠鑽井技術。淺層地下水可以使用大口井,而深層地下水則需要深井泵。地下水取水設施的設計需要考慮地質條件、含水層特性和抽水對地下水位的影響。在取水工程中,魚類保護設施也是不可或缺的組成部分。這些設施包括欄柵、魚道和聲波驅魚裝置等,目的是防止魚類進入取水系統,保護水生生態系統。

取水泵站是取水工程的核心設施,負責將原水輸送到淨水廠。泵站的設計需要考慮取水量、揚程、能耗等因素。現代取水泵站通常採用變頻調速泵,可以根據實際需求調整取水量,提高能源效率。此外,泵站的設計還需要考慮防洪、防震等安全因素。

在沿海地區,海水淡化正成為一種越來越重要的水源選擇。海水取水工程面臨著獨特的挑戰,如防止海洋生物附著、抵禦海浪衝擊等。常見的海水取水方式包括開放式取水和濱濾井取水,後者可以利用海濱沙層的自然過濾作用改善進水水質。

水源選擇與取水工程還需要考慮環境影響和社會因素。取水活動可能影響下游生態系統和其他用水戶的權益,因此需要進行全面的環境影響評估和利益相關者協商。在某些情況下,可能需要採取生態流量補償措施,確保河流的基本生態功能不受影響。

隨著氣候變化和人口增長帶來的水資源壓力,水源選擇與取水工程正面臨新的挑戰。工程師們需要採用更加靈活和可持續的方法,如綜合水資源管理(綜合水資源管理)策略,將地表水、地下水和再生水等多種水源統籌考慮,以提高供水系統的彈性和可靠性。此外,智慧水務技術的應用,如實時監測和預警系統,也正在改變傳統的取水工程管理模式,提高運行效率和安全性。

總之,水源選擇與取水工程是一個複雜的系統工程,需要綜合考慮水文、水質、工程技術、環境生態和社會經濟等多方面因素。隨著社會發展和技術進步,這一領域將繼續演進,為實現安全、可靠和可持續的供水奠定基礎。

## 6.2 輸水與配水系統設計

輸水與配水系統設計是給水工程中的核心環節,它涉及將淨化後的水從水廠輸送到用戶端的整個過程。這個系統的設計需要考慮多方面因素,以確保水質安全、供水穩定和經濟效益。

輸水系統主要負責將處理後的水從淨水廠輸送到配水網絡或儲水設施。輸水管線通常採用大口徑管道,以滿足大流量輸送的需求。在設計輸水系統時,首先需要確定輸水路線。

路線選擇要考慮地形條件、土地使用情況、施工難度等因素。理想的輸水路線應盡可能短，以減少水力損失和建設成本。然而，在複雜地形或城市密集區域，可能需要繞行或採用特殊的過河、穿越建築物等方案。

輸水管材的選擇是另一個關鍵考慮因素。常用的輸水管材包括鑄鐵管、鋼管、預應力混凝土管和塑料管等。選擇管材時需要綜合考慮水壓、腐蝕性、施工條件、造價等因素。例如，在高水壓條件下，可能優先選擇鋼管或預應力混凝土管；而在腐蝕性較強的土壤中，可能選擇塑料管或內襯防腐的金屬管。

輸水系統的水力計算是設計過程中的重要步驟。工程師需要計算管道的摩擦損失、局部損失，確定適當的管徑和壓力等級。在長距離輸水系統中，可能需要設置加壓泵站來克服地形高差和水力損失。加壓泵站的設計需要考慮泵的類型、數量、性能曲線等，以滿足不同流量和水頭條件下的輸水需求。

配水系統則負責將水從主幹管網分配到各個用戶。配水系統的設計更為複雜，因為它需要滿足不同用戶在不同時間的用水需求。配水系統通常採用環狀或樹狀結構，環狀結構有利於水質循環和供水可靠性，而樹狀結構則適用於用戶分散的區域。

在配水系統設計中，首先需要進行用水量預測。這包括居民生活用水、工業用水、市政雜用水等各類用水的估算。用水量預測需要考慮人口增長、產業發展、節水措施等因素，通常需要預測 20-30 年的遠期用水量。基於用水量預測，工程師可以確定配水管網的規模和結構。

配水管網的水力計算是一個複雜的過程，需要考慮管網中的水流分配和壓力變化。傳統的哈代克羅斯(Hardy Cross)法已逐漸被計算機輔助的數值模擬方法所取代。這些先進的水力模型可以模擬不同用水情況下的管網運行狀態，幫助優化管網設計。

配水系統的壓力管理是確保供水品質的關鍵。過高的水壓會增加管網漏損和能耗，而過低的水壓則可能導致供水不足。因此，需要合理設置減壓閥、增壓泵等壓力調節設施。在地形起伏較大的區域，可能需要分區計量管理，每個分區維持適當的壓力範圍。

水錘防護是輸配水系統設計中不可忽視的環節。水錘現象可能由閘門快速關閉或泵站突然停機等原因引起，造成管道破裂或設備損壞。為防止水錘，可採用緩閉閘、水錘消除塔、蓄壓罐等設施。在系統設計階段，需要進行水錘分析，確定防護措施的類型和參數。管網的布置需要考慮城市規劃和道路布局。通常，主幹管沿主要道路敷設，次幹管和配水管則沿次要道路布置。在管網布置時，還需要考慮與其他地下管線的協調，如污水管、燃氣管、電力電纜等。合理的管網布置可以降低施工難度和維護成本。

閘門是輸配水系統中的重要控制元件。閘門的類型和位置直接影響系統的運行靈活性和維護便利性。常用的閘門包括蝶閘、閘閘、球閘等。在幹管上，通常每隔一定距離設置隔斷閘，以便在管道維修時隔離故障段。在配水管網的關鍵節點，還需設置控制閘來調節流量和壓力。

消防供水是配水系統設計中的特殊考慮因素。消防栓的布置需要滿足相關規範要求，確保消防用水的可靠性。在一些高層建築或重要設施周圍，可能需要設置專門的消防加壓設施。

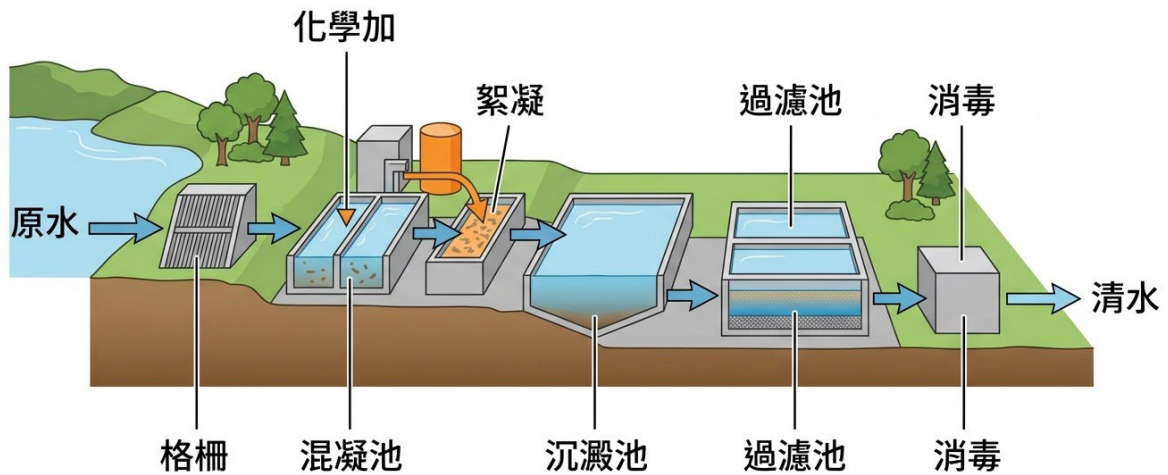
水質保障也是輸配水系統設計的重要目標。長距離輸水過程中，水質可能發生變化，如餘氯衰減、微生物再生長等。為維持水質，可能需要在輸水幹線上設置加氯點。在配水系統中，為防止水質惡化，需要避免管網中的死水區，必要時可採用自動沖洗裝置。

隨著智慧水務技術的發展，輸配水系統設計越來越多地融入智能化元素。例如，安裝在線水質監測設備，實時監控管網水質變化；採用智能水表和漏損檢測系統，及時發現並處理管網漏損；利用 SCADA(監控與數據採集)系統實現遠程監控和自動化運行。這些智能化措施可以顯著提高系統的運行效率和管理水平。

節能減排也是現代輸配水系統設計的重要考慮因素。通過優化泵站運行策略、採用高效水泵和變頻控制技術，可以大幅降低系統的能耗。此外，合理利用地形高差，採用重力流輸水，也是一種有效的節能措施。

在系統設計過程中，還需要考慮系統的可擴展性和適應性。隨著城市發展，用水需求可能發生變化，輸配水系統應具有一定的冗餘度和擴展能力，以適應未來的需求增長。同時，系統設計還需要考慮極端天氣事件和氣候變化的影響，增強系統的抗風險能力。

總體而言，輸水與配水系統設計是一個多目標、多約束的複雜工程問題。它需要平衡供水安全、經濟效益、環境影響等多方面因素，綜合運用水力學、材料科學、控制理論等多學科知識。隨著城市化進程的加快和技術的進步，輸配水系統設計將不斷演進，以滿足社會對安全、高效、智能化供水系統的需求。



永續社epa

## 6.3 常規水處理工藝

常規水處理工藝是淨水過程中的核心環節，旨在將原水轉化為符合飲用水標準的清潔水源。這一過程通常包括一系列物理、化學和生物處理步驟，每個步驟都針對特定的水質問題。常規水處理工藝的設計和實施需要深入理解水質特性、處理原理和工程應用，以確保處理效果和經濟效益的最佳平衡。

常規水處理工藝通常始於預處理階段。預處理的主要目的是去除原水中的大顆粒懸浮物和漂浮物，為後續處理創造有利條件。常見的預處理設施包括格柵和篩網。格柵用於攔截水中的較大雜物，如樹枝、垃圾等。篩網則進一步去除較小的懸浮物。在一些情況下，預處理還可能包括預沉澱步驟，特別是當原水中含有大量易沉澱的顆粒物時。預處理不僅可以提高後續處理的效率，還能延長設備的使用壽命。

混凝是常規水處理工藝中的關鍵步驟之一。混凝過程旨在去除水中的膠體顆粒和部分溶解性物質。這一過程通過添加混凝劑來實現，常用的混凝劑包括鋁鹽（如硫酸鋁）和鐵鹽（如氯化鐵）。混凝劑在水中水解，形成帶正電荷的膠體，這些膠體能夠吸附水中的負電荷顆粒，形成更大的絮體。混凝過程通常在快混池中進行，快速攪拌確保混凝劑與水充分混合。混凝效果受到多種因素影響，包括水中的鹼度、pH值、溫度以及混凝劑的類型和劑量。因此，在實際應用中常需要通過瓶試試驗來確定最佳的混凝條件。

絮凝過程緊隨混凝之後，目的是促進已形成的微小絮體聚集成更大的顆粒。絮凝通常在慢混池中進行，採用緩慢攪拌的方式。這種緩慢攪拌可以增加顆粒之間的碰撞機會，同時避免已形成的絮體被打散。為了增強絮凝效果，有時會添加絮凝助劑，如聚丙烯醯胺等高分子化合物。這些助劑可以形成分子橋架，連接不同的絮體，形成更大、更緻密的顆粒。

沉澱是混凝絮凝後的重要分離步驟。在沉澱池中，絮凝形成的大顆粒在重力作用下沉降到池底，形成污泥。清水則從池頂溢流進入下一處理單元。常見的沉澱池類型包括水平流沉澱池、輻流式沉澱池和斜管（板）沉澱池。水平流沉澱池結構簡單，但占地面積大。輻流式沉澱池利用中心進水、周邊出水的方式，可以提高沉澱效率。斜管（板）沉澱池通過增加有效沉澱面積，大大提高了處理能力和效率。沉澱過程的效果受到水力負荷、水溫、顆粒特性等多種因素的影響。為了提高沉澱效果，有時會採用脈動沉澱或傾斜板沉澱等改進技術。

過濾是常規水處理工藝中的關鍵淨化步驟，主要用於去除沉澱後水中殘留的細小顆粒和部分溶解性物質。常見的過濾方式包括快濾和慢濾。快濾是最常用的過濾方式，濾料通常為石英砂、無煙煤等單層或多層組合。快濾過程中，水以較快的速度（通常為4-12米/小時）通過濾層。濾層不僅起到物理篩濾作用，還能通過吸附作用去除部分溶解性物質。隨著運行時間的增加，濾層會逐漸堵塞，需要定期反沖洗以恢復過濾效能。慢濾則採用較低的過濾速度（通常小於0.5米/小時），主要依靠濾層表面形成的生物膜來淨化水質。慢濾對原水水質要求較高，但處理效果好，尤其是對病原微生物的去除效果顯著。

消毒是確保飲用水安全的最後屏障。常用的消毒方法包括氯消毒、氯胺消毒、臭氧消毒和紫外線消毒等。氯消毒是最為普遍的方法，不僅可以有效殺滅病原微生物，還能在管網中形成餘氯，持續發揮消毒作用。然而，氯消毒可能產生有害的消毒副產物，如三鹵甲烷。氯胺消毒則能減少消毒副產物的生成，但殺菌效果相對較弱。臭氧消毒效果強，反應迅速，但設備投資大，且無餘氯作用。紫外線消毒不產生化學副產物，但對水的濁度要求高，且同樣無餘氯作用。在實際應用中，常根據原水水質特點和處理要求選擇合適的消毒方式，有時會採用多種消毒方法聯合使用。

除此之外，常規水處理工藝中還可能包括一些針對特定水質問題的處理單元。例如，對於高濁度原水，可能需要增加預沉澱單元。對於高鐵錳含量的地下水，可能需要增加曝氣氧化單元。對於高有機物含量的水源，可能需要考慮強化混凝或增加活性炭吸附單元。這些附加處理單元的選擇和設計需要基於詳細的水質分析和處理目標。

pH調節在整個處理過程中起著重要作用。不同的處理單元對pH有不同的要求，例如混凝過程通常在弱酸性條件下效果最佳，而消毒效果則在中性至弱鹼性條件下較好。因此，在處理過程的不同階段可能需要添加酸或鹼來調節pH值。常用的pH調節劑包括石灰、燒鹼和鹽酸等。

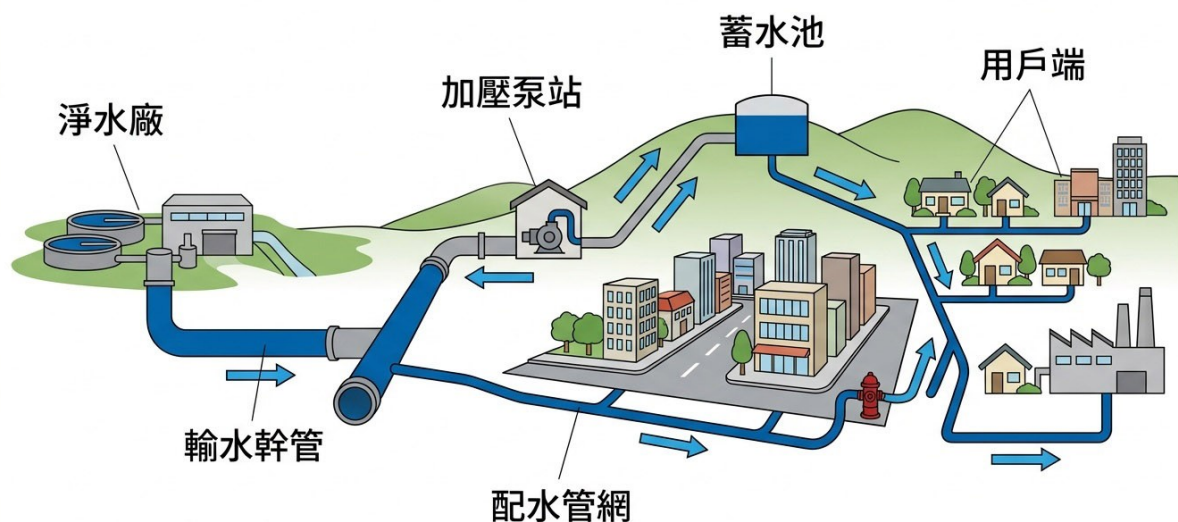
軟化處理是針對硬度過高的水源的特殊處理過程。硬水不僅影響用水設備的使用壽命，還可能影響水的口感。常見的軟化方法包括石灰軟化法和離子交換法。石灰軟化法通過添加石灰和碳酸鈉，使水中的鈣鎂離子形成沉澱而被去除。離子交換法則是利用樹脂交換水中的鈣鎂離子，使其被鈉離子替代。

除氣是去除水中溶解氣體的處理過程，主要用於去除二氧化碳、硫化氫等影響水質的氣體。常見的除氣方法包括曝氣和真空除氣。曝氣除氣通過增加水與空氣的接觸面積，促進氣體從水中逸出。真空除氣則是在減壓條件下加速氣體釋放。

在實際的水廠設計中，這些處理單元通常被組合成一個完整的處理流程。典型的常規水處理工藝流程可能包括：預處理→混凝→絮凝→沉澱→過濾→消毒。然而，具體的處理流程和每個單元的參數設計都需要根據原水水質特點、處理要求和當地條件進行優化。例如，對於水質較好的地下水源，可能只需要簡單的消毒處理。而對於受污染嚴重的地表水源，則可能需要更複雜的處理流程。

常規水處理工藝的運行管理同樣至關重要。這包括定期的水質監測、設備維護、藥劑投加控制等。現代水廠通常採用自動化控制系統，通過在線監測儀器和控制設備實現處理過程的實時監控和自動調節。這不僅提高了處理效率和穩定性，還降低了人工操作的誤差。

隨著水質標準的不斷提高和新型污染物的出現，常規水處理工藝也在不斷發展和完善。例如，強化混凝技術可以提高有機物的去除效率；生物活性炭技術則能更好地去除微量有機污染物。這些新技術的應用使得常規水處理工藝能夠更好地應對日益複雜的水質挑戰，為安全供水提供有力保障。



永續社apa

## 6.4 高級水處理技術

高級水處理技術是在常規水處理工藝基礎上，針對特定水質問題或更高水質要求而發展起來的一系列先進處理方法。這些技術能夠有效去除常規處理難以去除的污染物，如微量有機物、病毒、離子性污染物等，從而進一步提高水質。隨著水質標準的不斷提高和新型污染物的出現，高級水處理技術在現代水處理中扮演著越來越重要的角色。

膜技術是高級水處理中最具代表性的技術之一。根據膜孔徑的大小，膜過程可分為微濾、超濾、納濾和反滲透。微濾膜的孔徑最大，通常在 0.1-10 微米之間，主要用於去除懸浮顆粒和細菌。超濾膜的孔徑在 0.001-0.1 微米之間，除了可去除微濾能去除的物質外，還能去除大分子有機物和病毒。納濾膜的孔徑更小，約在 0.001 微米左右，能夠去除二價離子和分子量較大的有機物。反滲透膜是分離能力最強的膜，孔徑小於 0.001 微米，可以去除幾乎所有溶解性物質，包括單價離子。

在實際應用中，微濾和超濾常被用作預處理步驟，以去除水中的懸浮物和膠體，為後續的納濾或反滲透處理創造良好條件。納濾技術常用於軟化處理和有機物去除，特別適用於處理地表水中的天然有機物。反滲透則廣泛應用於海水淡化和高純水製備。膜技術的優點在於其處理效果穩定、占地面積小、自動化程度高。然而，膜污染是膜技術面臨的主要挑戰，需要通過合理的預處理和定期清洗來維持膜的性能。

活性炭吸附是另一種重要的高級水處理技術，特別適用於去除水中的微量有機污染物、臭味物質和餘氯。活性炭因其巨大的比表面積和複雜的孔隙結構，具有優異的吸附性能。根據應用形式的不同，活性炭處理可分為粉末活性炭(PAC)和顆粒活性炭(GAC)兩種。PAC 通常直接加入水中，與水充分接觸後通過沉澱或過濾去除。GAC 則常用於填充過濾柱，水流通過炭層實現污染物的去除。近年來，生物活性炭技術得到廣泛應用，它利用活性炭表面生長的微生物膜，不僅可以吸附污染物，還能通過生物降解作用進一步去除有機物，延長炭床的使用壽命。

高級氧化技術是一類利用強氧化劑或高能輻射產生羥基自由基，從而氧化分解水中難降解有機物的處理方法。常見的高級氧化技術包括臭氧氧化、芬頓氧化、光催化氧化等。其中，臭氧氧化是應用最為廣泛的高級氧化技術。臭氧不僅本身是強氧化劑，在某些條件下還能分解產生更強的羥基自由基。臭氧氧化能有效去除水中的色度、嗅味、微量有機污染物，並具有很好的消毒效果。芬頓氧化利用亞鐵離子催化過氧化氫分解產生羥基自由基，對有機污染物具有很強的降解能力。光催化氧化則是利用光敏半導體（如二氧化鈦）在光照下產生電子-空穴對，進而生成羥基自由基實現污染物降解。高級氧化技術的優點是氧化能力強、反應迅速，缺點是運行成本較高，且可能產生有害的氧化副產物。

離子交換技術是一種基於離子選擇性吸附的水處理方法，主要用於水的軟化、除鹽和特定離子的去除。離子交換樹脂是該技術的核心，它能選擇性地吸附水中的某些離子，同時釋放出等價的其他離子。例如，在軟化處理中，鈉型陽離子交換樹脂可以吸附水中的

鈣、鎂離子，同時釋放鈉離子，從而降低水的硬度。離子交換技術還廣泛應用於工業純水製備，通過組合使用陽離子交換樹脂和陰離子交換樹脂，可以去除水中的各種離子性物質。此外，某些特殊的離子交換樹脂還可用於去除水中的砷、硝酸鹽等特定污染物。離子交換技術的優點是處理效果好、操作簡單，缺點是需要定期再生，產生再生廢水。電去離子技術是一種結合了離子交換和電滲析原理的水處理方法，主要用於生產超純水。該技術使用離子交換膜和離子交換樹脂，在直流電場的作用下，水中的陽離子和陰離子分別向陰極和陽極移動，從而實現水的脫鹽。電去離子技術可以生產電阻率接近 18.25 兆歐姆·厘米的超純水，廣泛應用於電子、製藥等對水質要求極高的行業。

生物膜處理技術是利用附著生長的微生物膜去除水中污染物的方法。這種技術在飲用水處理中的應用主要包括慢濾和生物活性炭處理。慢濾利用濾層表面形成的生物膜（胞外聚合物）去除水中的懸浮物、膠體、病原微生物和部分溶解性物質。生物活性炭則是在活性炭表面培養微生物膜，結合了吸附和生物降解兩種作用機制，能有效去除水中的有機物、氨氮等污染物。生物膜技術的優點是處理效果好、運行成本低，缺點是啟動時間長、對水溫敏感。

電化學處理技術在近年來也得到了廣泛應用。電解氧化法利用電極表面產生的羥基自由基、臭氧等強氧化性物質氧化分解水中的有機污染物。電絮凝法則是通過電解產生凝聚劑，實現水中懸浮物和膠體的去除。這些技術具有設備簡單、自動化程度高的特點，但能耗較高。

此外，還有一些新興的高級水處理技術正在研究和應用中。例如，光電催化技術結合了光催化和電催化的優點，在去除難降解有機物方面表現出色。納米材料在水處理中的應用也日益廣泛，如納米零價鐵用於地下水中氯代有機物的還原脫氯，納米二氧化鈦用於光催化降解有機污染物等。

在實際應用中，高級水處理技術通常不是單獨使用，而是與常規處理工藝相結合，形成複合處理流程。例如，在處理受污染的地表水時，可能採用"常規處理+臭氧+活性炭"的工藝流程。首先通過常規處理去除大部分懸浮物和部分有機物，然後利用臭氧氧化去除難降解有機物和消毒，最後通過活性炭吸附去除臭氧氧化產生的小分子有機物和餘臭氧。高級水處理技術的選擇和設計需要綜合考慮原水水質、處理目標、經濟性和運行管理等多方面因素。例如，對於高鹽分的苦鹹水源，可能優先考慮反滲透技術；而對於有機物含量高的地表水源，可能更適合採用臭氧-生物活性炭工藝。在設計過程中，還需要充分考慮各種技術的優缺點和適用條件，例如膜技術需要良好的預處理以防止膜污染，臭氧氧化需要考慮臭氧的毒性和腐蝕性等。

高級水處理技術的應用不僅局限於飲用水處理，在污水再生利用、工業用水處理等領域也發揮著重要作用。隨著水資源短缺問題的加劇和水質標準的不斷提高，高級水處理技術的重要性將進一步凸顯。然而，這些技術通常投資和運行成本較高，因此在實際應用中需要權衡處理效果和經濟性，選擇最適合的技術方案。

高級水處理技術的發展正在朝著高效、低耗、智能化的方向前進。例如，開發新型高通量低壓力的膜材料，提高膜過程的能效；研究選擇性更強的吸附材料，提高對特定污染物的去除效率；開發智能化的處理系統，實現水質實時監測和處理參數的自動優化。這

些進展將進一步提高高級水處理技術的性能和經濟性，為解決日益複雜的水質問題提供有力支持。

## 6.5 飲用水水質標準與監測

飲用水水質標準與監測是確保公眾健康和安全的關鍵環節，它為水處理過程提供了明確的目標和評估體系。隨著科技的進步和人們對健康的日益重視，飲用水水質標準不斷完善，監測技術也日益精進。

飲用水水質標準是一套全面的指標體系，涵蓋了水中可能存在的各類污染物和影響因素。這些標準通常由國家或國際權威機構制定，如世界衛生組織（WHO）的飲用水水質準則，美國環境保護署（USEPA）的飲用水標準，以及中國的生活飲用水衛生標準等。這些標準通常包括微生物學指標、物理指標、化學指標和放射性指標等幾大類。

微生物學指標主要關注水中可能存在的病原微生物，如大腸桿菌、腸球菌、隱孢子蟲等。這些指標對於預防水源性疾病至關重要。物理指標包括濁度、色度、pH值、臭和味等，這些指標不僅影響水的感官品質，也可能間接反映水中其他污染物的存在。化學指標是最為複雜和廣泛的一類，包括無機物（如重金屬、氟化物、硝酸鹽等）、有機物（如三鹵甲烷、農藥、多環芳烴等）以及消毒副產物等。放射性指標則主要關注水中可能存在的放射性元素，如鐳、鈾等。

水質標準的制定是一個複雜的過程，需要綜合考慮毒理學研究、流行病學調查、檢測技術水平和經濟可行性等多方面因素。對於大多數化學污染物，標準值的確定通常基於長期攝入不會對人體健康造成明顯危害的原則。這涉及到計算每日可耐受攝入量，並考慮飲水在總攝入量中的比例。對於致癌物質，則通常基於可接受的終身癌症風險水平來確定標準值。對於微生物指標，標準的制定更多地基於流行病學研究和實際控制的可行性。值得注意的是，不同國家和地區的水質標準可能存在差異。這些差異反映了各地的自然環境特徵、經濟發展水平、技術能力以及公眾健康關注點的不同。例如，在自然砷含量高的地區，砷的標準限值可能會相對寬鬆；而在工業發達地區，對某些特定的有機污染物可能會有更嚴格的限制。

隨著科學研究的深入和檢測技術的進步，水質標準也在不斷更新和完善。例如，近年來，人們對水中新興污染物的關注日益增加，如藥物殘留、微塑料、內分泌干擾物等。雖然這些物質目前可能尚未納入常規的水質標準，但已經成為研究和監測的重點。

水質監測是確保飲用水符合標準的重要手段。完善的監測體系包括水源水、出廠水和管網水的全過程監測。水源水監測主要關注原水水質的變化趨勢，為水廠的工藝調整提供依據。出廠水監測是水廠質量控制的關鍵環節，確保處理後的水質達標。管網水監測則旨在了解水在輸配過程中的水質變化，確保用戶水龍頭的水質安全。

在監測頻率方面，不同指標有不同的要求。一些關鍵指標，如餘氯、濁度等，需要進行連續在線監測；而一些複雜的有機物指標，可能採用定期抽檢的方式。監測點的布設也需要科學規劃，以確保能夠全面反映整個供水系統的水質狀況。

水質監測技術近年來有了顯著進步。傳統的實驗室分析方法仍然是水質監測的基礎，但自動化、在線化和快速檢測技術的應用日益廣泛。例如，在線濁度儀、餘氯分析儀、pH計等已成為水廠的標準配置。一些先進的水質監測系統還集成了多參數監測儀器，可以同時監測多種水質指標，並實現數據的實時傳輸和分析。

生物監測技術也在水質監測中發揮著重要作用。魚類行為監測系統、生物發光細菌等生物預警技術能夠及時發現水中的突發性污染。此外，基於DNA測序技術的微生物群落分析方法，為深入了解水中的微生物生態提供了新的工具。

水質監測數據的管理和分析同樣重要。現代水質監測系統通常與地理信息系統（GIS）和數據庫管理系統相結合，實現數據的空間可視化和長期趨勢分析。一些先進的系統還引入了人工智能技術，通過機器學習算法預測水質變化趨勢，為水質管理決策提供支持。飲用水水質標準的執行和監督是一個系統工程，需要政府、水務部門、第三方檢測機構和公眾的共同參與。政府部門負責制定標準、監督執行和組織定期的水質普查。水務部門則需要建立完善的自檢系統，確保日常供水的達標。第三方檢測機構提供獨立的水質評估，增加監測結果的可信度。而公眾參與則可以通過"陽光水務"等形式，增加水質信息的透明度，提高公眾對飲用水安全的信心。

在發生水質異常或突發事件時，應急監測和響應機制尤為重要。這要求建立快速檢測和預警系統，制定詳細的應急預案，並定期進行演練。例如，在發生管網污染事件時，需要迅速增加監測頻率和密度，追蹤污染源，並及時採取處置措施。

水質標準與監測還需要與水處理工藝緊密結合。一方面，水質標準的變化可能要求更新或優化處理工藝；另一方面，監測數據可以為工藝調整提供依據。例如，如果監測發現某些新興污染物難以去除，可能需要考慮引入高級氧化或活性炭吸附等處理技術。

國際合作在飲用水水質標準與監測領域也在不斷加強。世界衛生組織定期更新飲用水水質準則，為各國制定本國標準提供參考。一些跨國河流的水質監測需要相關國家的共同努力。此外，新技術、新方法的交流與共享也推動了全球範圍內水質監測水平的整體提升。

隨著人們生活水平的提高和健康意識的增強，公眾對飲用水水質的要求也在不斷提高。除了基本的安全性要求，人們對水的口感、礦物質含量等方面也提出了更高的期望。這推動了"優質飲用水"標準的發展，一些地區開始制定高於普通標準的優質飲用水標準，以滿足公眾的需求。

值得注意的是，飲用水水質標準與監測不僅適用於集中供水系統，對於分散式供水系統（如農村小型供水設施、家用淨水設備等）同樣重要。如何確保這些小型系統的水質安全，是當前面臨的一個重要挑戰。一些新興的便攜式檢測設備和快速檢測試劑盒為解決這一問題提供了可能。

此外，水質信息的公開和公眾教育也是水質管理的重要組成部分。通過定期發布水質報告、開放水廠參觀、開展水質知識普及活動等方式，可以提高公眾對水質安全的認知和參與度。一些城市還開發了手機 App，使居民可以方便地查詢所在地區的實時水質信息。飲用水水質標準與監測是一個動態發展的領域，需要不斷適應新的挑戰和機遇。面對氣候變化、新興污染物、極端天氣事件等挑戰，水質標準和監測體系需要具備足夠的靈活性和前瞻性。同時，大數據、物聯網、人工智能等新技術的應用，也為提升水質監測的精度、效率和覆蓋面帶來了新的可能。