

# 澳門再生水發展總體規劃

## 研究簡報



新加坡CPG諮詢私人有限公司  
2012年9月



## 目 錄

|              |    |
|--------------|----|
| 1. 背景介紹      | 2  |
| 2. 案例分析      | 4  |
| 3. 澳門再生水需求分析 | 5  |
| 4. 澳門再生水規劃佈局 | 8  |
| 5. 再生水水質標準建議 | 15 |
| 6. 再生水風險管理   | 17 |
| 7. 再生水水價     | 21 |
| 8. 研究總結      | 22 |
| 附件一          | 23 |
| 附件二          | 24 |
| 研究資料說明       | 27 |

## 1. 背景介紹

### 1.1 研究背景

受自然環境限制，澳門天然淡水資源匱乏。隨著人口增長，社會經濟高速發展，澳門已成為世界上人口密集度最高的地區之一。雖然持續得到廣東省珠海市的原水供給（過去十年約96%原水來自珠海），但近年來上游各地的需水量也因經濟發展而增加，而且由於鹹潮上溯迫使珠海市的原水取水口不斷上移，原水輸送管道延長，供水設施增加，再加上通漲與人民幣升值等因素，澳門的原水成本持續攀升。

面對全球氣候轉變及水資源消耗加速所帶來的水危機，澳門特區政府為達至積極推動構建節水型社會的目標，制定了《澳門節水規劃大綱》。其中開發利用澳門本地非常規水資源，提高自給自足能力是《澳門節水規劃大綱》中的一項重要方針。事實上，安全充足的水源是城市經濟、社會持續發展的重要保障，尋求一個環保、經濟、可持續的替代水源對澳門的長久繁榮發展具有重要意義。

受澳門特別行政區政府委託，新加坡CPG 諮詢私人有限公司聯合新加坡KPMG諮詢公司，澳門大學社會科學及人文學院，以及新加坡公共事業局完成了“澳門再生水發展總體規劃研究”，並撰寫本研究報告，為澳門特別行政區未來十年的再生水資源開發利用規劃提供科學的參考依據。

### 1.2 澳門發展再生水的潛力

隨著近年澳門居民在日常生活中接觸到有關水資源稀缺的訊息增加，加上澳門特區政府大力推進節水型社會建設，社會整體的節水意識有所提高，居民對澳門水資源管理的要求日漸增強。另一方面，澳門經濟增長迅速，經濟活動越趨頻繁，商業用水量呈明顯增長勢頭，有必要發展替代水源以減輕地區發展所產生的原水需求壓力。這些都要求澳門在水資源的開發利用上採取新的思維及手段，回應社會、經濟發展對澳門水資源管理方面的訴求。

在《澳門節水規劃大綱》推行的各項非常規水資源利用方案中，再生水利用是比較適合澳門情況的替代水源之一。再生水是城市排放水經過深度處理後，達到規定的水質安全標準的可回用水，其處理工藝相對簡單，前期資本投資較低，且來源充足而穩定，具有不受氣候影響，就地可取、穩定可靠、保證率高等很多優點。再生水一般不用於飲用，但可以用於眾多非飲用場合，例如沖廁、綠化、景觀、冷卻和工業用水等。表1對比了多種澳門本地水資源開發利用的潛力；表2是澳門發展再生水的SWOT 簡要分析。



表 1 澳門替代水源的開發潛在效益對比

|      | 雨水收集                            | 地下水                 | 海水化淡   | 再生水              |
|------|---------------------------------|---------------------|--------|------------------|
| 水源水質 | 城市所收集的雨水水質較差                    | 水質較差；而且有海水倒灌        | 沿岸水質較差 | 污水處理廠出水水質已達排放水標準 |
| 水量   | 水量不足<br>(集雨區面積有限) (僅佔本澳總用水量約1%) | 水量不足                | 水量充足   | 水量較充足            |
| 處理成本 | 較低                              | 一般或較高<br>(尤其涉及海水倒灌) | 最高     | 較低               |

表 2 澳門發展再生水的SWOT分析



SWOT分析即強弱機危綜合分析法，是一種競爭態勢分析方法，是市場行銷的分析方法之一。通過評價優勢(Strengths)、劣勢(Weaknesses)、競爭市場上的機會(Opportunities)和威脅(Threats)，以在制定發展戰略前對計劃進行深入全面的分析以及競爭優勢的定位。



## 2. 案例分析

再生水是指城市排放水經過深度處理後，達到規定的水質安全標準的可回用水。再生水的發展已有近百年的歷史，隨著膜濾技術的發展，再生水生產工藝已經相當成熟。現時許多國家在沖廁、綠化、農業灌溉、景觀、工業冷卻、道路清洗等方面，都大量使用再生水。

新加坡、中國、日本、澳洲及美國是成功開發再生水利用的國家。經綜合分析，她們的發展經驗對澳門未來的發展策略有以下啟發。

- 大多數國家開發利用再生水用於非飲用用途，主要包括市政雜用水、生活雜用水、工業用水以及農業灌溉。少數國家例如新加坡將深度處理的新生水輸入水庫，經過自來水處理實現間接飲用的目的。

- 再生水發展是一個長期的循序漸進的基礎工程。再生水的成功利用不僅需要滿足在技術、經濟、基礎設施等方面的要求，也需要社會民眾的認可和支持。很多成功案例的國家都是經歷十年至幾十年的實踐和發展。

- 再生水的安全性是增強民眾對再生水信心的最重要因素，需要確保管道正確連接及避免不當使用。再生水的水質管理相當嚴格，甚至公開讓公眾參與監督水質參數，如微生物、鹹度、重金屬、有機物與無機物等參數。

- 為了確保再生水的市場競爭力，再生水價格一般低於自來水價格。但很多案例表明為了體現再生水價值，避免浪費，再生水價格不應過低，更不應為免費。

- 再生水經濟效益方面，經驗表明儘管再生水用於非直接飲用，但也需要投放大量資金建設先進的處理設施以確保水質安全，達到收支平衡需要的時間較長。

- 部份地區的再生水發展受到再生水管道建設嚴重滯後的制約：發展成熟的地區在道路和市政管道建設時沒有預留安裝再生水管道的空間；城市也因污水處理廠與污水收集管線現有佈局欠理想而無法達到再生水的供需平衡。

案例的詳細對比資料見本研究報告附件一



### 3. 澳門再生水需求分析

再生水的需水量分析評估是研究再生水可行性的基礎工作。需水量的分析結果是未來再生水的整體規劃、佈局和設計的重要依據。根據澳門歷年的用水統計資料，用水量主要有兩種分類方法：

- 按用戶類別分類：(1)家居用水、(2)工商業類、(3)公共用水。
- 按地區分類：(1)澳門本島、(2)氹仔區、(3)路環區、(4)路氹城區。

本研究力求從多方面考慮各種潛在的再生水應用。根據基礎資料，經驗參數以及在研究期間收集到的各種回饋意見與資料，再生水需水量分析模型主要考慮了以下因素：

表 3 再生水需水量分析的考量因素

| 考量因素 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 時間   | ● 根據2000 -2010年澳門用水量、未來人口預測及城市規劃，分析未來十年的再生水需求量。                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 地區分佈 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 澳門的成熟發展區內建築物高度集中，街道空間狹小，地下管線密佈而且錯綜複雜。倘若要在這些區域增建再生水管道設施，估計對區內居民的生活和社會運作會造成很大影響。此外，在現存的樓宇增加再生水管和水池等設施在技術上也相當困難。現階段不適宜在成熟發展區增建再生水供水管道和設施。</li> <li>● 根據基礎資料和回饋意見，再生水將主要應用在澳門半島（青洲都市化整治計劃區、紀念孫中山市政公園）、氹仔（氹仔北安都市化整治區、氹仔北區都市化計劃區），路環（包括石排灣新社區）、路氹城區、橫琴島澳門大學新校區及新城區（A、B、C、D、E區）。</li> </ul> |
| 用戶類別 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 根據所提供資料，再生水需水量按住戶類，工商業類，綠地灌溉和公共設施/建築類四類進行評估。</li> <li>● 住戶類的再生水用途主要是沖廁；工商業類、公共範疇的再生水主要用於沖廁、綠化及景觀用途。</li> </ul>                                                                                                                                                                       |
| 分析模式 | ● 根據基礎資料和經驗值，本研究進行兩種模式的評估：下限評估及上限評估（即對再生水的最低及最高需求量進行預測）。非單一的分析模式可以提供更大的預測範圍，以反映出未來各種不確定因素所造成的偏差。                                                                                                                                                                                                                              |

下限評估參數：下限評估的主要參數和經驗值包括居民每人每日用水量（168公升）中的30%可使用再生水（沖廁）；商業及工業用水中20%可使用再生水（路氹城區商業及工業用水中30%可使用再生水）；綠地灌溉用水1.6公升/( $\text{m}^2 \cdot \text{日}$ )；公共設施/建築用水中可使用再生水替代的比例為40%；管道漏損率為8.5%。

表 4 澳門再生水需求估算（下限值）

| 地區            | 居民沖廁類<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 商業及工業類<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 綠地灌溉<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 公共設施/建築<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 總計<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) |
|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 澳門半島          | 1,371                              | -                                   | 324                               | 103                                  | 1,798                           |
| 氹仔            | 2,793                              | -                                   | 937                               | 75                                   | 3,804                           |
| 路環            | 199                                | -                                   | 1,758                             | -                                    | 1,957                           |
| 路氹城區          | -                                  | 5,400                               | 455                               | -                                    | 5,855                           |
| 新城區 (A, B)    | 3,024                              | 410                                 | 630                               | 531                                  | 4,595                           |
| 新城區 (C, D, E) | 2,016                              | 980                                 | 528                               | 562                                  | 4,087                           |
| 石排灣新社區        | 3,153                              | -                                   | 114                               | 47                                   | 3,314                           |
| 橫琴澳大          | 756                                | -                                   | 693                               | 654                                  | 2,013                           |
| 總計            | 13,311                             | 6,790                               | 5,439                             | 1,972                                | 27,512                          |

上限評估參數：上限評估的主要參數和經驗值包括居民每人每日用水量（220公升）中的30%可使用再生水（沖廁）；商業及工業用水中35%可使用再生水（路氹城區商業及工業用水中40%可使用再生水）；綠地灌溉用水3.0公升/( $\text{m}^2 \cdot \text{日}$ )；公共設施/建築用水中可使用再生水替代的比例為50%；管道漏損率為13%。

表 5 澳門再生水需求估算（上限值）

| 地區            | 居民沖廁類<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 商業及工業類<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 綠地灌溉<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 公共設施/建築<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | 總計<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) |
|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 澳門半島          | 1,795                              | -                                   | 344                               | 134                                  | 2,274                           |
| 氹仔            | 3,658                              | -                                   | 1,756                             | 97                                   | 5,511                           |
| 路環            | 366                                | -                                   | 3,297                             | -                                    | 3,663                           |
| 路氹城區          | -                                  | 7,498                               | 854                               | -                                    | 8,352                           |
| 新城區 (A, B)    | 4,158                              | 1,625                               | 1,140                             | 822                                  | 7,745                           |
| 新城區 (C, D, E) | 4,422                              | 2,010                               | 1,188                             | 732                                  | 8,352                           |
| 石排灣新社區        | 4,128                              | -                                   | 213                               | 62                                   | 4,403                           |
| 橫琴澳大          | 990                                | -                                   | 1,299                             | 2,043                                | 4,332                           |
| 總計            | 19,517                             | 11,133                              | 10,091                            | 3,890                                | 44,632                          |



分析結果顯示，至2021年，澳門的總用水量中有11%-14%可被再生水替代（見圖1及圖2）；即下限為27,512 m<sup>3</sup>/日，上限為44,632 m<sup>3</sup>/日。其中，3%-4%為商業與工業用水、5%-6%為居民用水、1%為公共設施與建築用水、2%-3%為綠地灌溉用水。

考慮到澳門有部份私人住宅區可能未有條件使用再生水，而根據澳門特區政府房屋局所發佈的《公共房屋發展策略(2011-2020)》諮詢文本內的資料，公共房屋住戶約佔全澳住戶的18.2%。假設在住戶類方面只在具條件的公共房屋使用再生水沖廁，那再生水替代總用水量的比率預計為7%至9%，即下限為16,623 m<sup>3</sup>/日，上限為28,667 m<sup>3</sup>/日。

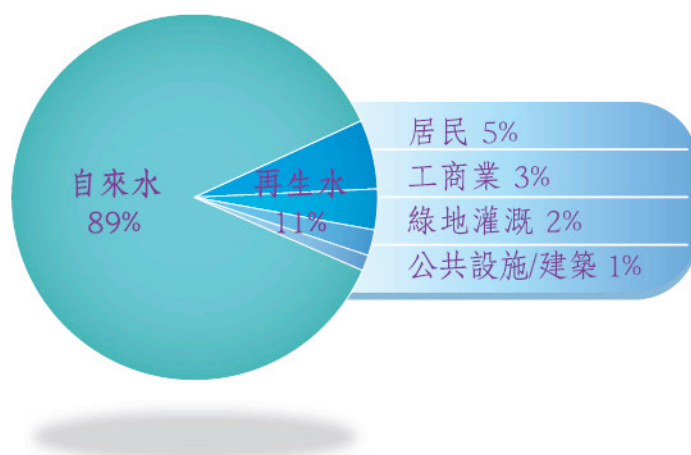


圖 1 可由再生水替代供水的比例—下限值

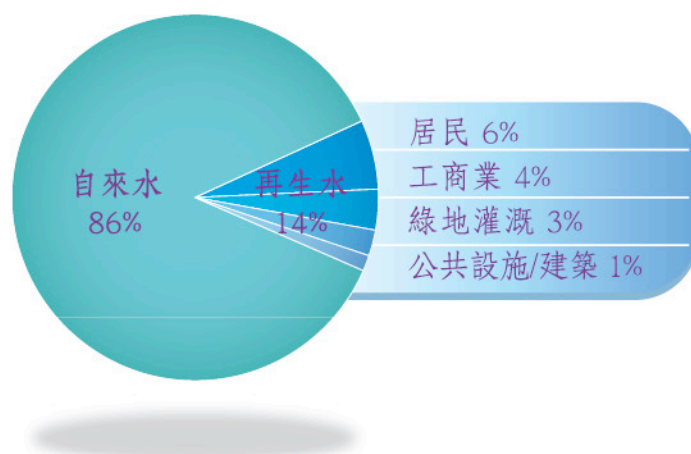


圖 2 可由再生水替代供水的比例—上限值

對比路環和氹仔兩個污水處理廠的設計生產能力和近年(2008 - 2011)排放水量的最高、最低以及平均記錄值，發現雖然兩個污水處理廠的設計生產能力可以滿足未來澳門全境的再生水需求，但實際的排放水水量記錄則顯示目前兩廠的排放水水量不穩定，未能確保澳門全境的再生水供應。為滿足澳門全境的再生水需求，除了路環和氹仔兩個污水處理廠，使用澳門半島污水處理廠的排放水是必須的。圖3顯示了2021年澳門主要的三個污水處理廠的排放水量與再生水需求量對比的預測。

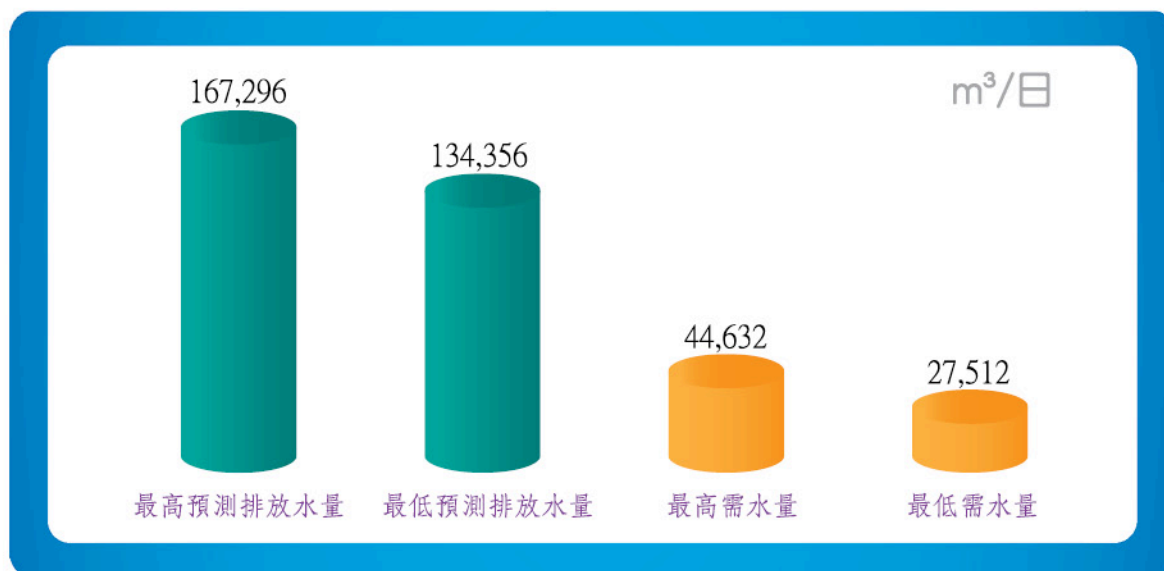


圖3 污水處理廠排放水量與再生水需求量對比（包括澳門半島污水處理廠、氹仔和路環污水處理廠排放水量）

## 4. 澳門再生水規劃佈局

再生水系統的佈局設計，既要保證再生水的充分利用及安全運行，亦要兼顧興建相關設施的開支和營運成本，更要客觀考慮土地資源的條件以及再生水廠選址對環境及社會的影響等。另外，根據《澳門節水規劃大綱》，澳門在再生水的發展策略上應優先將橫琴島澳門大學新校區及石排灣新社區打造為試範區域，並在條件成熟後逐步向新發展區拓展。

### 4.1 再生水廠佈局模式

澳門特別行政區由澳門半島、氹仔島、路環島和路氹填海區四部分組成，由三座跨海大橋連接，未來還有五個新城區（A、B、C、D、E區）。倘若由一個再生水廠滿足整個澳門的再生水需求，意味著需要將分佈於澳門半島及離島的污水處理廠的排放水統一收集到該再生水廠，這會大大增加在管線鋪設及泵站建設方面的投資，取水及輸水成本亦大大提高；另一方面，儘管以多個小型的再生水廠生產的模式較為靈活，但所需佔用的土地資源較多，亦不建議採用。



事實上，澳門半島和其他離島的人口密度和土地利用發展程度相差很大，澳門半島人口密度高，建築群密集，再生水管網鋪設受限，再生水普及速度慢；相比之下，離島和新城區人口密度較小，不少地方現正處於發展或規劃階段，再生水普及速度較快。考慮到兩個區域內各自的污水排放量以及預期的再生水使用量存在很大差距，澳門未來適宜採取區域式的再生水廠佈局模式，並透過連接區域間的再生水供水系統，對再生水進行合理調配，以更好地回應不同區域的再生水需求及發展。

在再生水廠的選址方面，原則上應儘量接近污水處理廠，一方面可節省鋪設輸送污水處理廠排放水的管道的成本，另一方面亦可降低輸送相關水體的風險；同時亦需配合土地的開發情況進行探討。受城市土地資源制約，澳門需要充分考慮興建地下式再生水廠的可行性。儘管在再生水廠上不可修建大型建築，但相關的土地可作綠化景觀佈置、修建公園等設施，澳門特區政府可藉此為本地居民提供更多的休憩空間，亦充分利用了土地資源。國內外如中國廣州、荷蘭鹿特丹市、日本東京都從不同的出發點，採用了地下式的水廠模式。然而，地下式的再生水廠也有其局限性，如建設成本較高、不便檢修等。

### 4.2 佈局方案選擇

本研究提出以下三個較具優勢的再生水廠佈局方案。並對這三個方案的再生水供需平衡、各再生水廠規模、需建設供水基礎設施、前期投資資金與水廠營運成本進行探討。

## 4.2.1 再生水廠佈局方案一

| 再生水廠位置           | 新城區A區<br>(鄰近澳門半島污水處理廠)                                                                                                                             | 路環<br>(鄰近路環污水處理廠)                                                                                                                                   |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 設計產水量、<br>水量覆蓋範圍 | <p>設計產水量<br/>40,000 m<sup>3</sup>/日</p> <p>水量覆蓋範圍(按表3所指的應用範圍)<br/>澳門半島、氹仔、路氹城區、新城區<br/>(A、B、C、D、E區)、路環部份需求。</p>                                    | <p>設計產水量<br/>12,000 m<sup>3</sup>/日</p> <p>水量覆蓋範圍(按表3所指的應用範圍)<br/>路環、橫琴。</p>                                                                        |
| 可鋪設管網範圍          | <p>再生水原水管<br/>從澳門半島污水處理廠鋪設至再生水廠；<br/>(管徑為800毫米)</p> <p>再生水管網<br/>可鋪設於澳門半島、新城區A、B區；<br/>(主管徑為300毫米至700毫米)<br/>可鋪設跨海再生水管道以連接離島區域。<br/>(管徑為600毫米)</p> | <p>再生水原水管<br/>由於再生水廠鄰近污水處理廠，再生水原<br/>水管道可忽略；</p> <p>再生水管網<br/>可鋪設於氹仔、路氹城區、路環、<br/>橫琴、新城區C、D、E區；<br/>(主管徑為300毫米至500毫米)<br/>與跨海再生水管銜接，保證離島區域供水安全。</p> |
| 供需平衡             | 再生水原水充裕，可補足離島區域的再生水需求。                                                                                                                             | 離島區域的部份再生水需求由澳門區域補足；<br>於大潭山建設高位儲水池，貯儲來自澳門區域<br>的再生水。                                                                                               |
| 再生水儲水池           | 最低容積是2個小時的需水量，即3,400m <sup>3</sup> 。                                                                                                               | 路環區儲水池最低容積是2個小時的需水量，<br>即1,000m <sup>3</sup> ；<br>另於大潭山建設高位儲水池以進一步保證離島<br>區的供水安全，水量由A區水廠補充。建議容積<br>為6,700m <sup>3</sup> (約能滿足整個離島4個小時需水量)。          |

在這個方案中，由於澳門半島污水處理廠能夠提供富裕的再生水原水，並會有跨海管道輸送再生水至離島，無需遠距離鋪管由氹仔污水處理廠輸送經處理排放水至路環再生水廠。這可以減少輸送經污水處理廠處理的排放水的風險，經濟上考量也比較合理。

基於上述理由，新城區A區再生水廠設計產量為40,000m<sup>3</sup>/日，佔地面積約18,000m<sup>2</sup>；路環再生水廠為12,000m<sup>3</sup>/日，佔地面積約8,760m<sup>2</sup>。在這個佈局方案中共需建設2座再生水廠，鋪設總長為46公里的再生水供水主要管道與再生水原水管，建設儲水池3個。

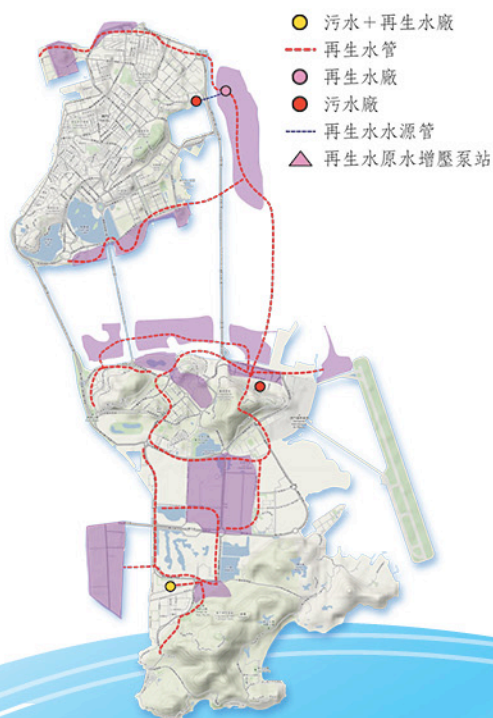


圖 4 再生水廠佈局方案一



## 4.2.2 再生水廠佈局方案二

| 再生水廠位置           | 新城區A區<br>(鄰近澳門半島污水處理廠)                                                                                                            | E區<br>(鄰近氹仔污水處理廠)                                                                                                          | 路環<br>(鄰近路環污水處理廠)                                                         |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 設計產水量、<br>水量覆蓋範圍 | 設計產水量<br>16,000 m <sup>3</sup> /日<br>水量覆蓋範圍(按表3所指的應用範圍)<br>澳門半島、新城區(A、B區)、離島部份需求。                                                 | 設計產水量<br>24,000 m <sup>3</sup> /日<br>水量覆蓋範圍(按表3所指的應用範圍)<br>新城區(C、D、E區)、氹仔、路氹城、路環部份需求。                                      | 設計產水量<br>12,000 m <sup>3</sup> /日<br>水量覆蓋範圍(按表3所指的應用範圍)<br>路環、橫琴。         |
| 可鋪設管網範圍          | 再生水原水管<br>從澳門半島污水處理廠鋪設至再生水廠；<br>(管徑為600毫米)<br>再生水管網<br>可鋪設於澳門半島、新城區A、B區；<br>(主管徑為300毫米至600毫米)<br>另鋪設跨海再生水管道以連接離島區域。<br>(管徑為500毫米) | 再生水原水管<br>從氹仔污水處理廠至再生水廠；<br>(管徑為700毫米)<br>再生水管網<br>可鋪設於新城區C、D、E區、氹仔、路氹城區。<br>(主管徑為300毫米至500毫米)                             | 再生水原水管<br>由於再生水廠臨近污水處理廠，再生水原水管道可忽略；<br>再生水管網<br>可鋪設於路環、橫琴。<br>(主管徑為400毫米) |
| 供需平衡             | 再生水原水充裕，可補足離島區域的再生水需求。                                                                                                            |                                                                                                                            | 離島區域的部份再生水需求由澳門區域補足；<br>於大潭山建設高位儲水池，貯儲來自澳門區域的再生水。                         |
| 再生水儲水池           | 最低容積是2個小時的需水量，即1,400m <sup>3</sup> 。                                                                                              | 最低總容積是2個小時的需水量，即2,000m <sup>3</sup> ；<br>另於大潭山建設高位水池進一步保證整個離島區的供水安全，水量由新城區A區及E區水廠補充。<br>建議容積為離島4小時需水量，即6,700m <sup>3</sup> | 最低總容積是2個小時的需水量，即1,000m <sup>3</sup>                                       |

在這個方案中，新城區A區再生水廠設計產水能力覆蓋新城區A、B區、澳門半島及補充離島部份需求。新城區E區與路環區各設再生水廠，新城區E區水廠設計產水能力是根據新城區C、D、E區、氹仔區及路氹城區的潛在需求量估算；路環區再生水廠以路環及橫琴澳大新校區的潛在需求量估算。

基於上述佈局，新城區A區再生水廠設計產量為16,000m<sup>3</sup>/日，佔地面積約10,040m<sup>2</sup>；新城區E區再生水廠設計產量為24,000m<sup>3</sup>/日，佔地面積約14,640m<sup>2</sup>；路環再生水廠為12,000m<sup>3</sup>/日，佔地面積約8,760m<sup>2</sup>。在這個佈局方案中共需要建設3個再生水廠，鋪設總長為47公里的再生水供水主要管道與再生水原水管，建設儲水池4個。

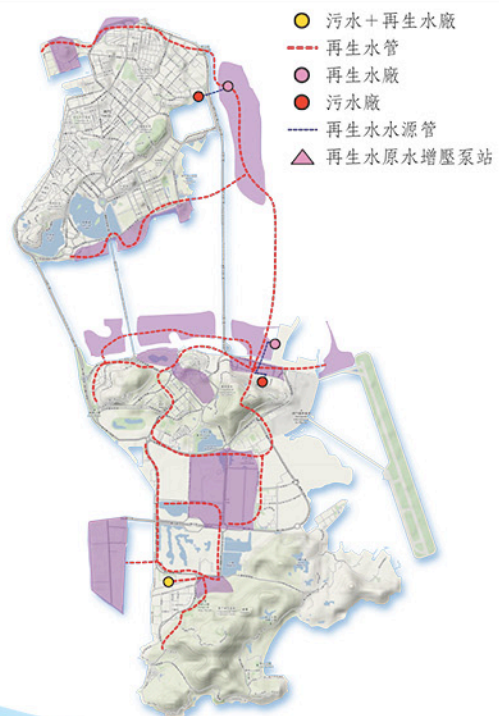


圖 5 再生水廠佈局方案二

## 4.2.3 再生水廠佈局方案三

| 再生水廠位置           | E區<br>(鄰近氹仔污水處理廠)                                                                                                                                                                                                     | 路環<br>(鄰近路環污水處理廠)                                                                                  |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 設計產水量、<br>水量覆蓋範圍 | <p>設計產水量<br/>40,000 m<sup>3</sup>/日</p> <p>水量覆蓋範圍(按表3所指的應用範圍)</p> <p>澳門半島、新城區(A、B、C、D、E區)、氹仔、<br/>路氹城區及離島部份需求。</p>                                                                                                    | <p>設計產水量<br/>12,000 m<sup>3</sup>/日</p> <p>水量覆蓋範圍(按表3所指的應用範圍)</p> <p>路環、橫琴。</p>                    |
| 可鋪設管網範圍          | <p>再生水原水管</p> <p>從氹仔污水處理廠至再生水廠；<br/>(管徑為700毫米)</p> <p>從澳門半島污水處理廠經跨海大橋至再生水廠；<br/>(管徑為500毫米)</p> <p>再生水管網</p> <p>澳門半島、新城區A、B區、新城區C、D、E區、<br/>氹仔區、路氹城區。<br/>(管徑為300毫米至500毫米)</p> <p>另鋪設跨海再生水管道至新城區A區。<br/>(管徑為500毫米)</p> | <p>再生水原水管</p> <p>由於再生水廠臨近污水處理廠，再生水原水管道<br/>可忽略；</p> <p>再生水管網</p> <p>可鋪設於路環、橫琴。<br/>(主管徑為400毫米)</p> |
| 供需平衡             | 再生水原水充裕，可補足離島區域的再生水需求                                                                                                                                                                                                 | 離島區域的部份再生水需求由澳門區域補足；<br>於大潭山建設高位儲水池，貯儲來自澳門區域<br>的再生水。                                              |
| 再生水儲水池           | <p>最低總容積是2個小時的需水量，即3,400m<sup>3</sup>；<br/>另於大潭山建設高位水池進一步保證整個離島區<br/>的供水安全，水量由E區水廠補充。</p> <p>建議容積為離島4小時需水量，即6,700m<sup>3</sup></p>                                                                                    | 最低總容積是2個小時的需水量，即 1,000m <sup>3</sup>                                                               |

在這個方案中，再生水廠建於新城區E區與路環區。新城區E區水廠的設計產水能力需滿足澳門半島、新城區A、B、C、D、E區、氹仔及路氹城區需求，富餘產水量供給路環及橫琴澳大新校區。由於澳門半島再生水原水充裕，可大量輸送澳門半島的再生水原水至新城區E區水廠進行處理。路環區設計產水能力是以路環、橫琴澳大新校區的潛在需求量設計。

按此，新城區E區再生水廠設計產量為40,000m<sup>3</sup>/日，佔地面積約18,000m<sup>2</sup>；路環再生水廠為12,000m<sup>3</sup>/日，佔地面積約8,760m<sup>2</sup>。在這個佈局中需建設2座水廠、再生水供水主要管道與再生水原水管鋪設總長58公里、儲水池最少3個、增壓泵站1個。



圖 6 再生水廠佈局方案三



#### 4.2.4 成本效益分析

成本效益分析由有市場價格可以遵循的成本和收益兩部分組成，包括但不限於資本支出、勞動力、能源和化學藥劑。表6總結了三個方案的成本效益分析結果。分析結果表明，除非提高再生水價格或得到政府的補貼，否則再生水項目將未能實現經濟效益。

項目未能帶來經濟效益的主要原因如下：

- 再生水廠和再生水管網系統等基礎設施需要龐大投資；
- 再生水的生產成本高於自來水的生產成本；
- 澳門的自來水價格偏低，政府需要長期補貼；
- 成本效益分析中，再生水的價格是按照目前自來水價格的85%計算（為鼓勵使用，再生水一般較自來水便宜）；
- 再生水需水量少於自來水，再生水廠的規模亦較小，故未能像自來水廠般實現經濟規模效應。

表 6 再生水佈局方案的成本效益對比

| 方案  | 固定資產<br>投資名義總額<br>(億澳門元) | 生產營運名義總額<br>(億澳門元) | 總面值收入<br>(億澳門元) | 淨現值按照<br>6.5%的貼現率<br>(億澳門元) | 內部收益率 |
|-----|--------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|-------|
| 方案一 | 6.33                     | 20.34              | 23.48           | (4.21)                      | 無     |
| 方案二 | 6.56                     | 20.67              |                 | (4.60)                      | 無     |
| 方案三 | 6.98                     | 20.56              |                 | (4.83)                      | 無     |

註：三個方案都按照6.5%的貼現率，產生現金流之年期為27.5年（30個月的建設，經營25年）計算。

#### 4.2.5 再生水佈局方案綜合比較

下面從四個方面對澳門再生水廠佈局方案進行比較，包括：再生水最大利用程度、前期投入和營運費用、再生水廠選址及再生水項目安全運行。

##### 方案一/二 與 方案三

方案一和二具有相似性，均在新城區A區設一再生水廠，收集經澳門半島污水處理廠處理後的排放水；而在方案三中，再生水廠設在新城區E區，通過跨海輸水管道來收集經澳門半島污水處理廠處理後的排放水。由於這個明顯的差異，這兩組佈局方案在施工、佔地、供水安全、以及技術和運行的經濟可行性上也有所不同。方案三需建兩條跨海輸水管道，一條收集經澳門半島污水處理廠處理後的排放水，另一條向澳門半島、新城區A、B區輸送再生水。雙跨海輸水管道的施工難度和投資運行費用會更高，建廠規模也要求更大。對比一條跨海輸水管道，雙跨海輸水管道的供水風險性（例如管道漏損等）也隨之增加。

| 佈局方案             | 方案一/方案二                                                          | 方案三                                                                                         |
|------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>區別</b>        | 新城區A區設再生水廠，收集經澳門半島污水處理廠處理後的排放水；排放水經深度處理成為再生水後，跨海輸送到新城區E區和離島進行補給。 | 新城區A區無再生水廠。經澳門半島污水處理廠處理後的排放水需跨海輸送到新城區E區大型再生水廠處理。達標的再生水需跨海由另一條再生水管線輸送回新城區A。營運期間，需額外泵站跨海輸送污水。 |
| <b>技術施工難度</b>    | 較低                                                               | 較高                                                                                          |
| <b>建廠佔地</b>      | 較小                                                               | 較大                                                                                          |
| <b>系統風險性</b>     | 較低                                                               | 較高                                                                                          |
| <b>前期投資</b>      | 較低                                                               | 較高*                                                                                         |
| <b>生產運行費用</b>    | 較低                                                               | 較高**                                                                                        |
| <b>整體技術經濟可行性</b> | 較高                                                               | 較低                                                                                          |

\* 方案三鋪設額外跨海污水處理廠排放水輸送管道需投資大約澳門幣8千萬元（約12公里長）。

\*\* 方案三每年需要額外跨海輸送污水處理廠排放水的費用高達澳門幣45萬至52萬元/年（電費單價為每度澳門幣0.963元；泵站為20米高的水壓；70-80%泵站效率），生產運行費用較方案一高。

- 前期投資：方案一為澳門幣6.33億元；方案二為澳門幣6.65億元；方案三為澳門幣6.98億元；
- 生產運行費用：方案一為澳門幣3.69元 /m<sup>3</sup>；方案二為澳門幣3.75元 /m<sup>3</sup>；方案三為澳門幣3.73元 /m<sup>3</sup>。

## 方案一 與 方案二

比較方案一和二可以發現，兩者區別在於方案一提出在新城區A區興建較大規模的再生水廠供水給澳門半島和氹仔地區，方案二提出在新城區A區和E區分別設兩個較小規模的再生水廠，分別供應澳門半島和氹仔地區的再生水需求。

- 1) 方案二要求於新城區A區和E區興建兩個再生水廠，但新城區E區再生水廠由於無法收集足量的經污水處理廠處理後的排放水，故離島的再生水仍需由新城區A區的再生水廠補給。這樣看來，新城區E區再生水廠的利用程度是比較有限的。方案一在新城區A區設較大規模的再生水廠，污水收集和再生水生產技術可行性高，施工難度小，未來生產營運成本低，佈局更為合理可行；
- 2) 結合計劃興建的大潭山隧道工程和第四條澳氹跨海通道，在大潭山設置的高位水池可作為未來貯儲新城區A區再生水廠出水，同時達到二次檢測和控制再生水水質的目的，對離島和新城區C、D、E區的再生水用水安全加以保障。

由此可見，方案一的優勢更為明顯。本研究建議採取再生水佈局方案一，以作為澳門再生水長遠發展規劃的基礎佈局。



## 5. 再生水水質標準建議

再生水水質標準是保證再生水使用安全及經濟合理的基本依據。在再生水水質的考量中，首先要滿足衛生要求，其次是滿足感官要求，再進一步是要符合技術要求。綜合考慮再生水的用途、公眾的接受程度及不同國家和地區的再生水水質標準，本研究建議澳門參考表7所列舉的各項指標制定未來的再生水水質標準。

與鄰近地區用於沖廁的海水水質相比，本研究所建議的澳門再生水水質在微生物指標、餘氯、嗅度、濁度等各方面均較優越，能夠進一步提高社會各界對再生水使用的信心。優越的再生水水質除了可用作沖廁外，還能用於對水質要求更高的綠化及景觀用水，亦為未來倘若有需要進一步提升水質和擴闊用途制造條件，從而更大程度地降低自來水的消耗。

表 7 澳門再生水水質標準

| 指標                                  | 單位                    | *參考標準                      | 新加坡   | 美國     | 其他國家地區標準參考<br>日本 | 中國<br>(城市雜用) | 中國<br>(環境景觀) | 香港<br>(海水沖廁) | 推薦參考值   | 註釋                                                                                                     |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-------|--------|------------------|--------------|--------------|--------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 溶解氧                                 | 毫克/公升                 | ≥2                         | -     | -      | -                | 1            | 1.5          | 2            | 2       |                                                                                                        |
| 總懸浮物                                | 毫克/公升                 | ≤10                        | -     | 5-30   | -                | -            | 10           | 10           | 5       | 建築工地，洗車等<br>城市雜用水要求較<br>低懸浮物                                                                           |
| 生化需氧量                               | 毫克O <sub>2</sub> /公升  | ≤6                         | -     | 10-45  | 3                | 10           | 6            | 10           | 6       |                                                                                                        |
| 溶解總固體                               | 毫克/公升                 | ≤1000                      | 150   | -      | -                | 1000         | -            | -            | 1000    | 綠化灌溉的水質一<br>般要求較低溶解總<br>固體。並且澳門近<br>2/3土地屬於填海地，<br>鹽份含量較高。為<br>避免再生水澆灌的<br>副作用，建議相關<br>部門進行長期的土<br>質檢測 |
| 糞性大腸菌群                              | CFU#/100毫升            | ≤10                        | 不得檢出  | 1-1000 | 50               | 3            | 不得檢出         | 100          | 0-3     | 保護民眾安全 and 健康                                                                                          |
| 鐵                                   | 毫克/公升                 | ≤0.3                       | 0.04  | -      | -                | 0.3          | -            | -            | 0.3     |                                                                                                        |
| 錳                                   | 毫克/公升                 | ≤0.1                       | 0.05  | -      | -                | 0.1          | -            | -            | 0.1     |                                                                                                        |
| 氨氮(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N) | 毫克N/公升                | ≤5                         | 1     | 1-30   | -                | 10           | 5            | 1            | 1-2     | 防止水體富營養化                                                                                               |
| 總磷                                  | 毫克P/公升                | ≤0.4                       | -     | 1-20   | -                | -            | 0.5          | -            | 0.1-0.2 | 防止水體富營養化                                                                                               |
| 石油類                                 | 毫克/公升                 | ≤1                         | -     | -      | -                | -            | -            | -            | 1       |                                                                                                        |
| 餘氯                                  | 毫克Cl <sub>2</sub> /公升 | >0.2 <sup>▲</sup><br>(管網水) | 2     | 0.5-1  | 50               | 1            | 0.05         | -            | 1-2     |                                                                                                        |
| 色度                                  | 鉑鉻色度                  | ≤30                        | 5     | -      | 10               | 30           | 30           | 20           | 10-20   |                                                                                                        |
| 嗅味                                  | -                     | 無不愉快感                      | -     | -      | 無不愉快感            | 3            | -            | 100          | 無不愉快感   |                                                                                                        |
| 酸鹼值                                 | -                     | 7-8.5                      | 7-8.5 | -      | 5.8-8.6          | 6.0-9.0      | 6.0-9.0      | -            | 6.0-9.0 |                                                                                                        |
| 濁度                                  | NTU <sup>^</sup>      | ≤5                         | 5     | 0.1    | -                | 5            | 5            | 10           | 5       |                                                                                                        |
| 陰離子表面活性劑                            | 毫克/公升                 | ≤1.0                       | ≤1.0  | -      | -                | 1            | 0.5          | -            | 1       |                                                                                                        |
| 化學需氧量                               | 毫克O <sub>2</sub> /公升  | ≤ 50                       | -     | 20-90  | -                | -            | -            | -            | 20      |                                                                                                        |
| 總有機碳                                | 毫克/公升                 | -                          | 0.5   | 1-10   | -                | -            | -            | -            | 1       |                                                                                                        |
| 總氮                                  | 毫克N /公升               | ≤ 15                       | -     | -      | -                | -            | 15           | -            | 15      |                                                                                                        |

\* 節錄《再生水利用參考標準》；

# CFU是指菌落形成單位；

▲ 化合餘氯和遊離餘氯之總和；

^ NTU是濁度的單位之一，1NTU表示1度，相當於1公升的水中含有1毫克二氧化矽。

- 未有規範。



## 6. 再生水風險管理

再生水項目與其他城市水務建設項目一樣，需要對相關的風險項目進行管理。再生水系統的風險管理主要關注水質及水量兩個方面，包括污水處理廠排放水、再生水營運單位的產水以及用戶的誤用或管道錯接等。這需要透過其他單位的支持和配合，政府各個部門協調管理，應用推廣和規範使用者利用等各個方面予以控制。因此，在項目的實施前，必須對各種風險進行系統分析，有針對性地採取相應的控制措施，促進再生水事業的健康發展。

表 8 再生水系統風險分析

|         | 原水供應 | 污水處理廠 | 再生水廠 | 再生水供水系統 | 再生水用戶 |
|---------|------|-------|------|---------|-------|
| 水量風險嚴重性 | 高    | 高     | 高    | 中       | 低     |
| 水質風險嚴重性 | 低    | 高     | 高    | 中       | 高     |
| 水量風險可能性 | 低    | 高     | 高    | 中       | 低     |
| 水質風險可能性 | 低    | 高     | 中    | 高       | 中     |

### 6.1 水質風險管理

再生水的水質監測需覆蓋再生水的生產、輸送和使用三個部分，當中需要所有用戶和負責監督的公共部門相互配合，以確保風險管理體系的完整性。一方面，公共部門需事先制定一系列的防範及應對措施，並參考圖7對污水處理廠排放水及再生水出廠水水質進行多環節的在線監測，對不達標排放水進行處理，或在嚴重情況下排放不達標的再生水入下水道；另一方面，各用戶需正確使用再生水，倘若發現再生水水質出現任何異常情況應及時向行政當局反映。

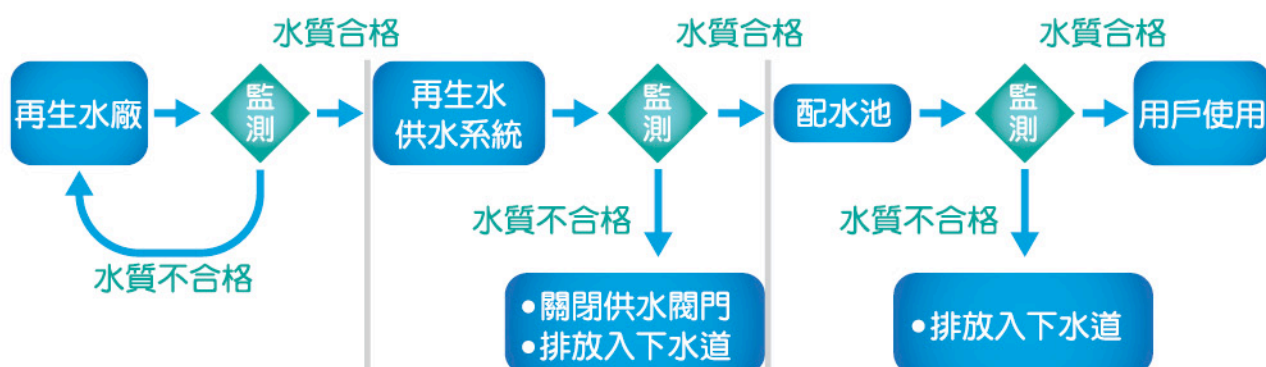


圖 7 再生水水質監測流程

## 6.2 水量風險管理

在水量方面，足夠的蓄水能力是保障供水安全的關鍵。考慮到澳門土地資源緊張，大面積水庫建設選址困難。因此在考慮再生水的存儲方面，再生水供水系統中各個儲水環節僅以最低儲存量去考量，並且需要在主要的再生水公共蓄水池設置水位警報裝置，在水量嚴重不足的情況下實施相關的自來水補水機制，保證有水可供。

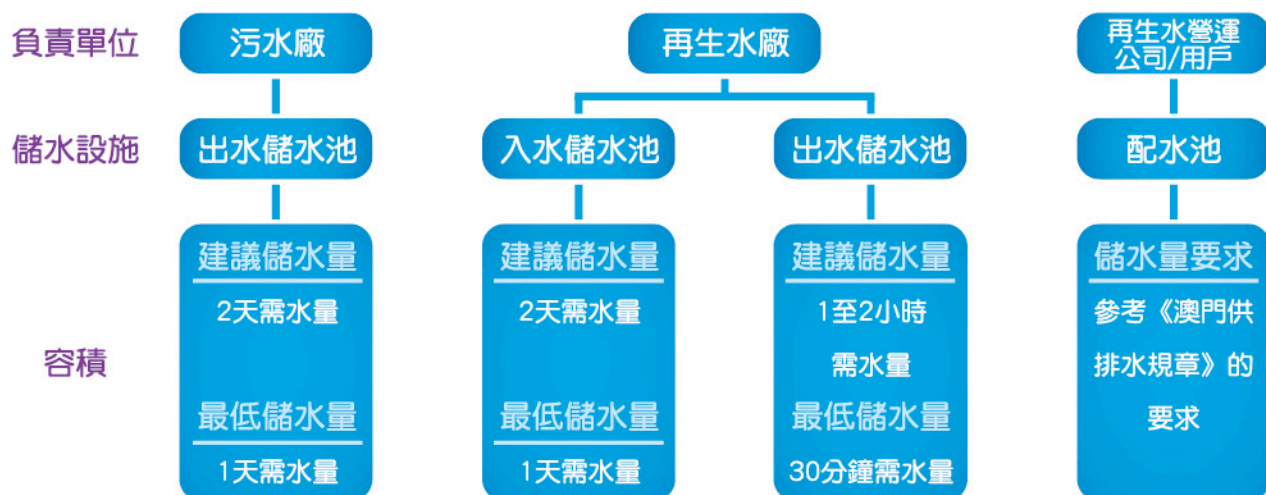


圖 8 再生水生產過程中各階段的蓄水量的建議



## 6.3 交叉污染防範

為了保障民眾健康安全，在實施再生水供應過程中，再生水與自來水的交叉污染控制非常重要。防範措施總結如下表。

表 9 確保管道正確連接措施

| 方式        | 事項            | 措施                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 控制<br>措施  | 設計、制定<br>管理要求 | <ul style="list-style-type: none"> <li>材質：各再生水管道、系統材質參考國內及國外先進國家的技術要求，宜採用承壓的塑膠管、複合管和其他給水管材，不得採用非鍍鋅鋼管；</li> <li>識別：各再生水管道、配件、系統需有明顯、獨特與統一的顏色與標識；</li> <li>公共自來水管道與公共再生水管道安裝建議距離：橫向距離：1米、縱向距離：0.3米（管道自上而下順序應為自來水管、再生水管、污水管）；</li> <li>預防倒流：於自來水系統設防止倒流裝置，以防止蓄意、錯誤接管事件發生時，再生水流入自來水管道；</li> <li>制水閘：當出現突發事件時，用以中斷部份受影響區域的供水；</li> <li>清洗/泄水裝置：清洗再生水管以去除污染物質，排放進入下水道。</li> </ul> |
|           | 安裝過程<br>的保護   | <ul style="list-style-type: none"> <li>設鎖與提醒標識、以防誤接；</li> <li>設圍欄禁止公眾接近；</li> <li>設再生水提醒標識。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|           | 長期保留<br>的標記   | <ul style="list-style-type: none"> <li>保留識別再生水的標識；</li> <li>當再生水用於公共區域如綠化灌溉，需設告示牌。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 加強<br>檢查  | 供水前檢查         | <ul style="list-style-type: none"> <li>開始供應再生水至用戶前，關閉該單位自來水供應，檢查每個自來水出口，確保管道正確連接才開始供應再生水。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|           | 定期檢查          | <ul style="list-style-type: none"> <li>對用戶（尤其商業用戶）進行定期檢查，確保無蓄意、錯誤連接情況。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|           | 定期水量<br>評估    | <ul style="list-style-type: none"> <li>用戶自行對用水量作定期評估，若出現不正常用水增長，或可能有再生水管蓄意或錯誤將再生水連接了自來水供水裝置。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 教育/<br>培訓 | 長期持續<br>宣傳    | <ul style="list-style-type: none"> <li>向用戶派發再生水使用手冊；</li> <li>透過傳媒宣導如何區別再生水與自來水供水系統；</li> <li>安裝再生水水管的水管工、承包商須接受培訓，並推行持證上崗；</li> <li>制定再生水供水設施安裝守則，督促業界遵守。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                       |

## 6.4 各風險管理主體對應的風險事故和相關防範措施：

### (1) 污水處理廠

| 風險事故                                                                                                                                                                         | 防範措施                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>● 污水管道破損，收集率低，收集量不穩定</li><li>● 運行故障，生產停頓導致排放水水量不足；或水質不達標</li><li>● 海水倒灌導致的排放水水量不穩定或水質下降</li><li>● 由於城市排放水水質不穩導致污水處理廠排放水水質不穩定</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>● 污水管道改善工程，減少雨水及污水合流管道</li><li>● 升級改造，加強污水處理廠的生產運行管理；設置儲存排放水設施</li><li>● 升級改造，設分流管設置及單向水流閘門，控制倒灌</li><li>● 進行水質監控，保證污水處理廠入水水質達到入廠標準</li></ul> |

### (2) 再生水廠

| 風險事故                                                                                                                           | 防範措施                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>● 受污水處理廠排放水影響，再生水水源不足</li><li>● 再生水廠出現運行故障導致水量不足</li><li>● 再生水廠出現運行故障導致產水水質不達標</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>● 設置再生水進水存儲設施；在再生水蓄水池設最低水位警報裝置；自來水補水機制</li><li>● 保守的水處理工藝設計；後備的生產線；重要的機器要有後備；中央監管系統</li><li>● 警報機制，24小時水質監控，及時切斷不達標再生水出廠</li></ul> |

### (3) 再生水供水系統

| 風險事故                                                                                                                                                                         | 防範措施                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>● 再生水在輸水管道中停留時間過長，容易滋生細菌和微生物繁殖</li><li>● 因施工導致管道損壞</li><li>● 管道錯誤連接，交叉污染</li><li>● 再生水供水水量不足</li><li>● 配水池內再生水倒流入自來水系統，污染自來水</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>● 定期檢測再生水管網水水質（日分析及月分析）；選擇合適的管道管材</li><li>● 施工單位在施工前須取得准照，發生事故後須儘早匯報，施工單位須根據獲批鋪設管道圖則施工，避免損壞其他地下基礎設施的管道</li><li>● 制定守則，規範施工；人員培訓；明顯的管道識別標識</li><li>● 再生水配水池設最低水位警報裝置；自來水補水機制</li><li>● 設置止回裝置，避免再生水倒流入自來水系統</li></ul> |

### (4) 再生水用戶

| 風險事故                                                                                         | 防範措施                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>● 管道連接錯誤</li><li>● 誤用再生水為自來水</li><li>● 濫用再生水</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>● 人員技術培訓，持證上崗；制定再生水使用規範</li><li>● 加強宣傳教育，保證規範使用</li><li>● 監管部門加強管理，杜絕有意將再生水當作自來水使用的不法行為</li></ul> |



## 7. 再生水水價

對再生水的使用徵收費用，一是為彌補建設、運行維護與再生水相關的設施以及生產、輸送再生水過程中牽涉的成本，二是為了體現再生水資源的價值，鼓勵合理使用再生水，杜絕浪費。另一方面，由於再生水利用對澳門來說畢竟是一種新的事物，再生水價格應在鼓勵使用的前提下合理釐定。再生水價格的釐定應當以本地的自來水價格作參考，與自來水價格保持適當差距，積極引導工商業、市政設施和城市綠化等各範疇使用再生水，務求透過經濟手段加快促進再生水的普及使用。

也就是說，再生水價格應較自來水便宜，但亦不適宜定於過低的水平。綜合考量各項因素，澳門未來的再生水價格應與各類別用水戶對應的自來水價格掛鉤，並設定於自來水價格85%或以上的水平。在收費的原則上，未來再生水的收費將按實際的再生水用量計算，不設最低收費，以體現用者自付的原則，同時杜絕浪費。

## 8. 研究總結

本研究表明再生水作為替代水源非常適合在澳門發展，且發展潛力較大。可以減緩對自來水需求的壓力。根據澳門的現實情況以及反覆討論，選取了較為切實可行的措施作為最終結論。

本研究建議澳門採取區域式的再生水佈局模式，未來在A區及路環各興建一再生水廠，相互連通，並逐步向以下地區供應再生水：

- 澳門半島（青洲都市化整治計劃區及紀念孫中山市政公園）；
- 氹仔（氹仔北安都市化整治區、氹仔北區都市化計劃區）；
- 路環（包括石排灣新社區）；
- 路氹城區；
- 橫琴島澳門大學新校區；
- 新城區（A、B、C、D、E區）。

在一些發展成熟的地區及舊區內建築群密集，未來或需配合適當的時機（如大規模的舊區重整或大型工程建設）另行對區內的再生水發展進行規劃。

在再生水的用途方面，本研究建議澳門優先將再生水開發作一般的家居沖廁以及市政雜用水（綠化及景觀）用途，並適時檢討再生水水質標準，提高公眾對再生水的接受程度。

澳門政府及再生水生產單位必須對再生水的入廠及出廠水質實施24小時在線監控，並事先制定一系列的風險防範及應對措施，包括對不達標排放水進行處理、排放不達標的再生水入下水道及實施自來水補水機制等。此外，本研究初步建議將再生水價格釐定於自來水價格85%的水平。

最後，再生水事業的啟動和發展將觸及本地家用、商用、公共用水的諸多層面，再生水項目的發展將取決於多方面的相互配合，需要有關再生水的生產和供應部門和單位的不懈努力，在技術、操作、宣傳、管理、財政等各個方面審時度勢，不斷尋求和探討更為適用和優化的途徑和舉措。本研究報告中所呈現的研究結果是基於目前各種分析的成果。一些細節的確定仍需論證，建議推薦方案或許會有所偏差。



## 附件一：外地再生水發展經驗對比

| 國家或地區       | 開發再生水的原因                                                                                                                                                     | 發展過程                                                                                                                                                                                                                                                             | 成效                                                                                                                                                                                       | 工藝                                                                                                            | 再生水主要用途                                                                                                                                                    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 新加坡         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 境內淡水資源匱乏</li> <li>• 國家戰略安全考慮（提高自給自足能力）</li> </ul>                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20世紀70年代起開始研發污水再循環技術</li> <li>• 1988年開始試驗生產再生水</li> <li>• 2000年建成第一個試驗性再生水廠</li> <li>• 2002年正式宣佈新生水技術研發成功</li> </ul>                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 現有5座新生水廠，平均每日可生產56萬m<sup>3</sup>新生水，佔總供水總量的30%</li> <li>• 計劃於2060年將再生水產量提升到全國供水總量的50%</li> </ul>                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 微過濾</li> <li>• 逆滲透</li> <li>• 消毒</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 主要用於工業冷卻、晶片製造等。</li> <li>• 小部分注入蓄水庫，與天然水混合後供居民間接飲用。</li> </ul>                                                    |
| 日本          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 因經濟發展及工業化進程引發用水需求激增</li> <li>• 1970年代遭遇全國性的大乾旱</li> <li>• 大規模水資源開發引起公眾對生態破壞的擔憂</li> <li>• 解決污水排放對沿岸海域的污染</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 再生水利用始於1955年</li> <li>• 污水再生利用從20世紀80年代開始進入高速發展階段</li> <li>• 1999年頒佈《全國水資源綜合規劃(水規劃21)》中，提出了建立可持續用水系統的戰略要求，強調對現有水資源的高效利用</li> <li>• 2009年在《下水道白皮書》中強調污水再生利用在日本的重要性</li> </ul>                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 至2007年，全國共建有286座再生水廠，年再生水產量為1.94億</li> <li>• 2007年東京都年再生水利用率為9.3%</li> </ul>                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 混凝沉澱</li> <li>• 砂濾</li> <li>• 薄膜處理/活性炭</li> <li>• 臭氧/氯氣消毒</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 河流補水</li> <li>• 景觀用水</li> <li>• 融雪用水</li> <li>• 沖廁用水</li> <li>• 綠化用水</li> <li>• 工業用水</li> <li>• 農業灌溉用水</li> </ul> |
| 美國 (加利福尼亞州) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 城市發展、人口增長，導致需水量增加</li> <li>• 水資源枯竭</li> <li>• 堤壩坍塌</li> <li>• 生態系統崩潰</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1918年訂定使用污水進行灌溉之規定，來鼓勵污水再生使用</li> <li>• 1926年首次利用回收水，1960年代起大力發展再生水作都市雜用水</li> <li>• 至1971年，已有358家工廠利用處理後的城市排放水，回收量為51億m<sup>3</sup></li> <li>• 為了規範再生水回灌，美國加州在1978年就提出了地下水回灌的標準草案</li> <li>• 到20世紀後期大量使用再生水</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2010年再生水用量為64億m<sup>3</sup>，佔總用水量的30%</li> <li>• 再生水資源已經成為加州水資源的有機組成部分</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 薄膜處理技術、逆滲透</li> <li>• 砂濾</li> <li>• 活性炭吸附</li> <li>• 消毒</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 農業灌溉</li> <li>• 景觀綠化</li> <li>• 保育</li> <li>• 工業</li> <li>• 地下水補注</li> <li>• 其他</li> </ul>                        |
| 澳洲 (悉尼)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 地球最乾旱大陸之一</li> <li>• 人口的增長，高度城市化以及工業與農業增長，導致用水需求增加</li> <li>• 民眾的環保意識與對再生水益處的認識提高</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20世紀末著手籌備勞斯山再生水計劃；</li> <li>• 2001年正式向勞斯山居民提供再生水；</li> <li>• 2004年：推行悉尼大都市水資源計劃，提出擴大再生水計劃</li> </ul>                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2010年再生水使用量4,750萬m<sup>3</sup>，再生水利用率為9%</li> <li>• 計劃於2015年提升至7,000萬m<sup>3</sup>，即總用水量的12%</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 生物處理</li> <li>• 微過濾</li> <li>• 逆滲透</li> <li>• 紫外線消毒</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 工業用水</li> <li>• 河流補水</li> <li>• 農業灌溉</li> <li>• 沖廁</li> <li>• 綠化</li> </ul>                                       |
| 中國 (北京市)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 城市嚴重缺水，人均水量僅為世界人均水準的1/30</li> <li>• 缺水制約社會經濟發展</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1980年代，北京市開始將污水處理後用於城市建築工程</li> <li>• 1987年北京市出臺了第一部再生水法規；2008年北京市在全國率先啟動了城區污水處理廠升級改造工程</li> <li>• 2004年北京把再生水正式納入全市年度水資源配置計畫中進行統一調配</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2010年全市建有17座再生水廠，生產能力合計81萬m<sup>3</sup>/日</li> <li>• 2010年再生水年利用量從2006年的3.6億m<sup>3</sup>增加到6.8億m<sup>3</sup>，佔總用水量的19%，成為北京穩定可靠的新水源</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 膜反應器技術；</li> <li>• 微絮凝；</li> <li>• 紫外線/加氯消毒/臭氧消毒</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 農業灌溉</li> <li>• 工業</li> <li>• 景觀用水</li> <li>• 其他還有洗車、道路壓塵等</li> </ul>                                             |

## 附件二：再生水處理工藝建議

本研究根據已知的資料，包括經污水處理廠處理後的排放水水質和再生水的推薦參考水質標準，對再生水處理工藝的基本要求進行分析，並提出三個技術經濟可行性較高的工藝，以供參考。再生水的處理工藝流程可以有多種不同的選擇。一般需考慮的主要因素包括：

- 經污水處理廠處理後的排放水水質；
- 再生水的水質標準；
- 建設及運行費用，經濟及社會效益；
- 工程施工的難易程度，例如廠址、地質條件、地下化建廠等；
- 當地的自然及社會條件，例如對周邊環境造成的氣味、噪音等影響；
- 當地的技術條件，例如哪些施工技術在當地發展較為成熟及對環境影響最少；
- 再生水的水量變化幅度。

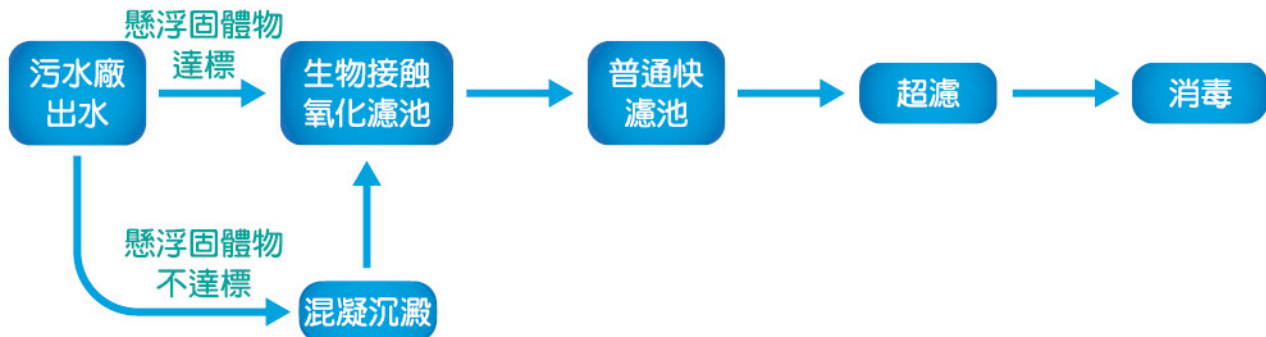
一般來說，再生水廠的處理工藝可以分為前處理、過濾處理和消毒三個主要部分。

表A-1 再生水處理過程的水質目標

| 處理單元 | 污水處理廠                 | 前處理                   | 過濾處理                 |                         | 消毒                |
|------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| 工藝選擇 | 升級改造，加強管理             | 混凝沉澱                  | 膜生物反應器               |                         | 加氯                |
| 水質目標 | • 5天生化需氧量<br><40毫克/公升 | • 5天生化需氧量<br><32毫克/公升 | • 溶氧<br>> 2毫克/公升     | • 化學需氧量<br><50毫克/公升     | • 大腸桿菌數<br><3個/公升 |
|      | • 化學需氧量<br>< 150毫克/公升 | • 化學需氧量<br><150毫克/公升  | • 5天生化需氧量<br><5毫克/公升 | • 總懸浮固體物<br><5毫克/公升     | • 餘氯<br>1-2毫克/公升  |
|      | • 總懸浮固體物<br><60 毫克/公升 | • 總懸浮固體物<br><46毫克/公升  | • 氨氮<br><2毫克/公升      | • 總溶解固體物<br><1,000毫克/公升 |                   |
|      | • 油脂<br><15毫克/公升      | • 氨氮<br><42毫克/公升      | • 鐵<br><0.3毫克/公升     | • 錳<br><0.1毫克/公升        |                   |
|      | • 陰離子表面活性劑<br><5毫克/公升 | • 大腸桿菌數<br><1,000個/公升 | • 總磷<br><0.2毫克/公升    | • 石油類<br><1毫克/公升        |                   |
|      |                       |                       |                      |                         |                   |
|      |                       |                       |                      |                         |                   |



再生水處理參考工藝一：



本研究建議參考的第一種工藝能夠處理大致滿足國家《城鎮污水處理廠污染物排放標準》二級排放標準的排放水。當懸浮固體物含量較高時（大於30毫克/公升），可先進行混凝沉澱，一般能使懸浮固體物降低至5毫克/公升以下。當污水處理廠排放水中的含磷量大於5毫克/公升時，也可以通過混凝沉澱將磷控制在2毫克/公升以內。

若懸浮固體物和總磷分別在30毫克/公升和3毫克/公升以下時，需處理的水進入生物接觸氧化濾池後，在池體內裝有特殊填料，填料完全被水浸沒，用鼓風機在填料底部曝氣，空氣能自下而上夾帶待處理水自由通過填料而到達池面；當空氣逸走後，待處理水則又從填料間格中自上向下返回池底。

由於經污水處理廠處理後的排放水屬於微污染水，可採用生物陶粒填料。此工藝對氨氮的去除率較高，一般可達70%以上，而對生化需氧量的去除率一般為30%-40%。對於國家《城鎮污水處理廠污染物排放標準》二級達標的排放水，經生物接觸氧化法處理後，其水質一般能達到國家《城鎮污水處理廠污染物排放標準》一級B排放標準。經生物接觸氧化法處理後的水體進入普通快濾池，進行超濾的預處理工藝。經過超濾和消毒後，水質應能滿足非飲用的各種再生水用途。

## 再生水處理參考工藝二：



本研究建議參考的第二種工藝同樣能處理國家《城鎮污水處理廠污染物排放標準》二級排放標準的排放水。其與第一種工藝的不同之處在於第二種工藝採用膜生物反應處理器，簡而言之，就是膜分離法和活性污泥法的結合工藝。

與生物接觸氧化法相比，經膜生物反應處理器後的水質較好（一般能達到國家《城鎮污水處理廠污染物排放標準》一級A排放標準），佔地較小，但能耗較大。臭氧氧化工藝的目的是進一步去除有機物，後續普通快濾池用以去除污染物。如果該普通快濾池的濾料採用活性炭，則此兩種工藝即成為臭氧-活性炭法，能大大提高有機物的去除效率。其產水同樣能滿足除飲用以外的各種再生水用途。

## 再生水處理參考工藝三：



根據澳門半島污水處理廠升級計劃，升級後的排放水水質會達到國家《城鎮污水處理廠污染物排放標準》一級A排放標準。倘考慮以保障再生水水質安全的處理工藝來推動再生水事業，建議考慮採用逆滲透處理工藝。

逆滲透是一種以壓力差為推動力，從溶液中分離出溶劑的膜分離技術。簡而言之就是對半滲透膜的一側的溶液施加壓力，當壓力超過它的滲透壓時，溶劑會以與自然滲透相反的方向作逆向滲透，從而在膜的低壓側得到滲透出來的溶劑。故此，處理水經過逆滲透處理後產出純水。逆滲透處理工藝能去除絕大多數的病毒，大部份有機物與金屬離子（例如溶解性鹽類），其水質甚至可以達到供人類飲用的安全要求。



## 研究資料說明

新加坡CPG諮詢私人有限公司（“CPG”）聯合新加坡 KPMG Services Pte. Ltd.（“KPMG”）、澳門大學社會科學及人文學院（“澳門大學”），以及新加坡公共事業局（“PUB”）受中華人民共和國澳門特別行政區政府港務局（“港務局”）委託進行澳門再生水發展總體規劃研究。

本報告中所運用的研究資料與資訊由澳門特別行政區以下政府部門/私人機構（“各單位”）協助提供：

- 澳門特別行政區政府港務局
- 澳門特別行政區政府環境保護局
- 澳門特別行政區政府民政總署
- 澳門特別行政區政府土地工務運輸局
- 澳門特別行政區政府建設發展辦公室
- 澳門自來水股份有限公司

本研究報告初期按照所提供資料進行技術性分析，隨後經過與各部門討論。最終呈現在該簡報中的內容結合了CPG的研究成果以及來自各部門的回饋意見，技術經驗和對未來發展考量等各方面因素。由於該報告還處於可行性研究階段，一些基礎資料的假設和細節仍需論證，研究結果與未來實際發展或有落差。

CPG所提供結果主要包括技術分析，本報告中包含的成本效益分析結果是CPG委託KPMG提供。

根據CPG與澳門特別行政區政府（“特區政府”）雙方簽署的合同，本報告著作財產權自CPG向港務局提交之日起移轉予特區政府，特區政府對報告的出版具決定權，並有權以任何方式公開、發表及使用報告。

# 澳門再生水發展總體規劃研究簡報

新加坡CPG諮詢私人有限公司

2012年9月

特區政府將會參考此研究報告以及社會各界的意見制定澳門再生水發展的長遠規劃，  
歡迎市民透過以下途徑發表意見：

電 郵：[water\\_conservation@marine.gov.mo](mailto:water_conservation@marine.gov.mo)

網 頁：[www.marine.gov.mo/waterconservation/](http://www.marine.gov.mo/waterconservation/)

傳 真：89882450

郵 遞：澳門郵政信箱47號