

# 可持續發展的水資源

## 跑馬地地下蓄洪計劃水資源採集及回收再用系統

香港特別行政區政府渠務署排水工程部總工程師 陸偉雄先生  
博威工程顧問公司董事 劉毅輝先生

### 摘要

香港特別行政區政府渠務署（渠務署）於跑馬地運動場建造地下蓄洪池，以提升港島北區防洪能力。此工程計劃提供了可持續發展的水資源開發契機，可供使用的水源包括抽取的地下水及經由重建於蓄洪池上方的運動場所收集的灌溉用水和雨水。工程擬建造一系列儲水及抽水系統，將所收集的地下水經由地下排水渠輸送到淨化系統作適當處理，並澆灌蓄洪池上的運動場以及用於場內的沖廁系統，從而提供一個可持續發展的水資源採集及回收再用系統。

關鍵詞：水資源，再生水，水處理

### 1 項目背景

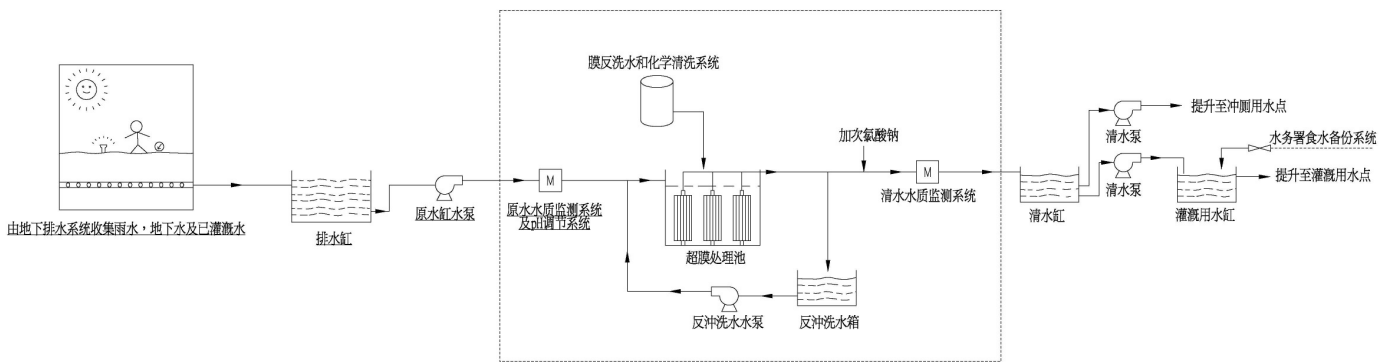
- 1.1 在 2000 年 8 月、2006 年 4 月和 2008 年 6 月發生特大暴雨期間，跑馬地和鄰近區域均曾發生嚴重水浸。
- 1.2 在這些交通繁忙和人口稠密的地方，採用傳統方法沿現有排水渠走線進行大規模擴闊工程以紓緩水浸問題，實有一定限制。因為這會涉及大規模掘路工程，不但對公眾造成嚴重滋擾，而且在某些地點因地底公用設施已相當擁擠，實際上並不可行。因此，香港特別行政區渠務署為減低灣仔區水浸威脅制定防洪三招：
  - 上游截流：港島西雨水隧道；
  - 中游蓄洪：跑馬地遊樂場地下蓄洪池；
  - 下游疏浚：下游集水區改善工程。
- 1.3 鑑於大坑東蓄洪計劃和上環雨水泵房的蓄洪方法既能紓緩市區低窪地帶的水浸問題，又能減低對公眾的滋擾，故渠務署在跑馬地再次採用地下蓄洪方法。於遊樂場底下建造的地下蓄洪池，可於特大暴雨期間暫存從該遊樂場和上游集水區所收集的部分雨水，以減低流經下游雨水排放系統的高峯流量。暴雨過後，暫存在蓄洪池內的雨水便會經順勢而下的箱形暗渠排走，大大減低下游灣仔及跑馬地低窪地區的水浸風險。

## 2 “三合一” 方案總體設計思路

2.1 建於跑馬地遊樂場底下的蓄洪池，容量為 60,000 立方米、相等於 24 個標準游泳池的容量，是本港第三個蓄洪池，工程費用預算約為十億港元。

2.2 工程的一部分是要將 533 支鋼工字樁打入基岩作為地基以對抗浮力，惟此設計所需建築成本較高；我們優化了工程設計，將蓄水池放在筏式地基上，以截水牆圍繞整個蓄水池，減低整個結構在地下水位高漲時的浮力。蓄水池池底鋪設完善的排水系統，以 200 毫米塑料管道收集地下水及已灌溉用水到原水缸作短暫儲存，加上由集水區收集的雨水，三種原水處理後會暫存於另一水缸，作沖廁及灌溉用途。

圖 1: 水處理流程



### 3 工程先驅

- 3.1 本工程的獨特之處，是全方位利用水資源實現持續發展。水源源自三個地方，簡稱“三水”：
  - 3.1.1 地下水：充分利用地下排水系統收集於岩石裂縫和地壤空隙中的水。地下水水量穩定，很少受氣候影響，污染程度低，非常適合用作一般用途;
  - 3.1.2 雨水及灌溉用水：透過於草地球場以下的排水系統收集;
  - 3.1.3 暴雨時的雨水：透過跑馬地上游集水區收集，當遇上暴雨時，部分雨水會被分流至蓄洪池暫時儲存，當暴雨過後全部排走。部分洪水可加以處理成再生水重用。
- 3.2 通過此“三水合一”的再生水概念使每一滴水都能夠充分利用,收集到的雨水及地下水會用於灌溉足球場，以及供水予附近公共洗手間的沖廁系統，做到防洪也環保，符合世界潮流。
- 3.3 首個結合「可調式溢流堰」及「數據採集與監控」系統的工程項目，溢流堰會按水位感應器自動調節高度並將雨水引入蓄洪池，控制下游流量，以達致防洪效果並提供再生水穩定的水源。
- 3.4 率先採用先進的水力數學模型技術，以一維和二維的水力數學模型，模擬排水管道網絡和地面徑流，再用「三維的計算流體力學」模型，分析特定結構的水力性能，達至更精確的防洪工程設計。
- 3.5 蓄洪池採用了淺缸設計，令溢流堰於暴雨過後隨下游暗渠水位下降而降低，將蓄洪池內逾三分之二的雨水經溢流堰順勢排走，其餘則由水泵抽走，與傳統設計需全由水泵抽走比較，能大大減省耗電量。
- 3.6 跑馬地遊樂場是區內最低點，就水力學觀點而言，是推行地下蓄洪計劃的理想地點。工程完成後，跑馬地和附近一帶的主排水系統的設計流量，一般可足以抵禦 50 年一遇的暴雨。

## 4 “三水合一”的再生水概念及實施的必要性

### 4.1 實現水資源可持續利用的需要

再生水資源化是實現水資源可持續利用的必然選擇。通過減少雨水直接排放至大海並加以利用，是最終解決城市水資源匱乏的綠色途徑。

### 4.2 滿足環境用水要求

“三水”中地下水水量及水質相對較穩定，可恆量供水給足球場灌溉和廁所沖廁，同時為未來向周邊地區提供環境景觀、市政雜用等用水鋪路。

### 4.3 樹立雨水資源化的科學價值觀要求及實施雨水回用

城市人長期依賴淨水供應，在雨水回用問題上普遍存在心理障礙。通過建設跑馬地再生水，美化城市景觀，在群眾中樹立“雨水也是一種資源”的正確觀念，轉變對節約用水和雨水回用的成見和偏見。使公眾意識到水危機的嚴重性和雨水回用的重要性，逐步樹立起雨水資源化的科學價值觀及實施雨水回用。

## 5 給水現狀:

5.1 跑馬地運動場現由水務署提供的食水作灌溉及沖廁用途。

### 5.2 存在問題:

5.2.1 經過計算每日最高峯用水量為 1000 立方米。假以時日，可想而知水用量極為龐大，而且更浪費很多珍貴的淨水資源。

5.2.2 因草地足球場為遊玩地方，公眾有機會接觸到再生水，所以我們制定的再生水水質指標近乎飲用水，以確保市民健康及安全。

## 6 源水水質

6.1 地下水、雨水及灌溉用水水質相對穩定，唯暴雨時的雨水水質變化較大，需要加以監測。通過對堅拿道的地底箱形暗渠的水質監測發現(參考表 1)，污染物主要為大腸桿菌，相比之下五天生化需氧量(BOD<sub>5</sub>) 和化學需氧量(COD) 含量較小，懸浮物(SS)並幾乎達到生活用水的標準。

表 1: 堅拿道的地底箱形暗渠雨水的水質 (2012 年數據)

參數	單位	數量					
		樣本1	樣本2	樣本3	樣本4	樣本5	樣本6
SS	mg/L	5	<2	24	5	10	3
大腸桿菌	CFU/100mL	86000	27000	16000	190000	1000000	3600
BOD <sub>5</sub>	mg/L	4	3	49	3	22	<2
COD	mg/L	10	8	77	9	46	<5
油脂	mg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5

## 7 再生水水質要求

- 7.1 確定科學、合理的再生水水質標準是首先需要解決的問題。“三水”深度處理出水水質既要滿足排放水體功能和再生水用戶要求的水質標準，又要避免採用過高的標準而導致處理難度和成本的增加，不利於深度處理工程的建設和運行。
- 7.2 儘管香港暫時未有法定再生水的水質標準，跑馬地再生水根據其用途及參考外國標準而制定了一套嚴謹的水質標準。

表 2: 跑馬地再生水水質標準

參數	單位	推荐的水質標準
大腸桿菌	No. /100 ml	不能被檢測到
殘餘氯總量	mg/l	≥ 0.5 ≤ 1.0
溶解氧	mg/l	≥ 2
總懸浮固體 (TSS)	mg/l	≤ 10
顏色	Hazen unit	≤ 20
濁度	NTU	≤ 10
酸鹼度		6 - 9
氣味數 (TON)		≤ 100
5 日生化需氧量(BOD <sub>5</sub> )	mg/l	≤ 10

## 8 再生水消毒方案的確定

- 8.1 二氧化氯的消毒作用及消毒的持久性比較明顯，但運行費用較高；液氯的消毒效果較好，能滿足消毒及消毒的持久性的要求，運行費用較低，故本項目正考慮採用投加液氯的方式來達到管網中餘氯的要求。

## 9 再生水處理工藝 - MF/UF (微孔過濾/超濾) 選擇原則

- 9.1 污水處理工藝的選擇應根據設計進水水質、處理程度要求、用地面積和工程規模、投資成本、運營成本等多因素進行綜合考慮，各種工藝都有其適用條件，應視工程的具體條件而定。
- 9.2 MF/UF 是一種與膜孔徑大小相關的篩分過程，以膜兩側的壓力差為驅動力，以 MF/UF 膜為過濾介質，在一定的壓力下，當原液流過膜表面時，MF/UF 膜表面密布的許多細小的微孔只允許水及小分子物質通過而成為透過液，而原液中體積大於膜表面微孔徑的物質則被截留在膜的進液側，成為濃縮液，因而實現對原液的淨化、分離和濃縮的目的。
- 9.3 在膜法分離技術中膜的微孔徑在  $20 \times 10^{-10}$  米  $\sim 1000 \times 10^{-10}$  米之間的過濾膜稱為 MF/UF 膜，即 0.002-0.1 微米之間，而一般膠體體積均  $\geq 0.1$  微米，乳膠  $\geq 0.5$  微米，大腸菌、葡萄球菌等細菌體積  $\geq 0.2$  微米，懸浮物、微粒子等體積  $\geq 5$  微米。因此 MF/UF 膜可以過濾出溶液中的細菌、膠體、懸浮物、蛋白質等大分子物質，適合我們的項目。
- 9.4 MF/UF 膜組件的結構
- 9.4.1 中空纖維膜以其無可比擬的優勢成為 MF/UF 的最主要形式。根據緻密層位置不同，中空纖維濾膜又可分為內壓式膜、外壓式膜及內、外壓式膜三種。外壓式膜的進水流道在膜絲之間，膜絲存在一定的自由活動空間，因而更適合於原水水質較差、懸浮物含量較高的情況；內壓式膜的進水流道是中空纖維的內腔，為防止堵塞，對進水的顆粒粒徑和含量都有較嚴格的限制，因而適合於原水水質較好的情況。
- 9.4.2 由於本項目主要進水為地下水、灌溉用水及雨水，原水水質較好，在 MF/UF 的選用時，可考慮採用內壓式膜中空纖維膜。

## 9.5 MF/UF 的運行方式

9.5.1 MF/UF 的運行有全流過濾（死端過濾）和錯流過濾兩種模式。全流過濾時，進水全部透過膜表面成為產水；而錯流過濾時，部分進水透過膜表面成為產水，另一部分則夾帶雜質排出成為濃水。全流過濾能耗低、操作壓力低，因而運行成本更低；而錯流過濾則能處理懸浮物含量更高的流體。具體的操作形式宜根據水中的懸浮物含量來確定。

9.5.2 根據本項目的實際情況，水中的懸浮物(SS) 含量低，可採用全流過濾，減少過濾的能耗，降低運行成本。

9.5.3 當 MF/UF 的過濾通量較低時，MF/UF 膜的過濾負荷低，膜面形成的污染物容易被清除，因而長期通量穩定；當通量較高時，MF/UF 膜發生不可恢復的污堵的傾向增大，清洗後的恢復率下降，不利於保持長期通量的穩定。因此，針對每種具體的水質，MF/UF 都存在一個臨界通量，在運行中應保持通量在此臨界通量之下。

## 9.6 MF/UF 的清洗方式

9.6.1 MF/UF 的清洗方式包括水的正洗、反洗，氣洗，分散化學清洗，化學清洗等。其中正洗、反洗可以清除膜面的濾餅層，而氣洗則利用氣水混合液的強力湍動，更有效地清除膜表面的污染層。

9.6.2 分散化學清洗和化學清洗則通過化學藥劑來清除膠體、有機物、無機鹽等在 MF/UF 膜表面和內部形成的污堵。清洗頻率提高、清洗強度增大都有利於更徹底地清除各類污染物。

## 9.7 MF/UF 系統產水量的確定

9.7.1 一般情況下，MF/UF 裝置的產水量隨著運行時間的延長而逐漸減少，當下降到一定程度後會有一個相對穩定期。在此期間，雖然產水量仍有下降的趨勢，但經過清洗後基本上可以回復到一個相對穩定值。

9.7.2 此項目在進行 MF/UF 系統設計時，根據 MF/UF 系統的設計水量大小、原水水質和使用條件的不同，往往是按 MF/UF 膜的水通量計算後並會預留一定餘量，原水水質較差的地方其預留的餘量也較大。此外，溫度對 MF/UF 系



統的產水量的影響是比較明顯的，溫度升高水分子的活性增強，粘滯性減少，故產水量增加。反之則產水量減少，即使對同一 MF/UF 系統在冬天和夏天的產量的差異也是很大的。因此，我們利用安全系數 1.2 去設計 MF/UF 處理廠而設計每日容量為 1200 立方米。

表 3:MF/UF 膜設計一覽表

一、設計基礎資料	
進水來源	地下水 灌溉用水 雨水
產水量	每日 1000 立方米
再生水用途	市政雜廁所用水,景觀用水及足球場灌溉
再生水水質要求	重點控制懸浮固體(SS),濁度、色度、糞大腸菌群等指標
二、設計工藝流程	
工藝流程	MU/UF 池+液氯消毒
MF/UF 的功能	去除絕大部分 SS、細菌和藻類
液氯的功能	殺菌，脫色，去除異味，抑制細菌在管網的生長

## 10 投資估算與運行費用

表 4:投資估算一覽表

序號	工程及費用名稱	金額(萬元)	所佔比例
1	喉管	396.78	30.35%
2	排水管道	68.75	5.26%
3	混凝土	102.77	7.86%
4	挖掘	86.32	6.60%
5	模板	64.92	4.97%
6	泵	34.2	2.62%
7	水處理廠	347.21	26.56%
8	屋頂綠化	1.26	0.10%
9	屋宇裝備	205.06	15.69%
	總額	1307.27	100%

表 5:未來運行費用一覽表

序號	工程及費用名稱	金額(萬元)	所佔比例
1	電費	10.63	22.28%
2	化學劑量費	0.76	1.59%
3	膜維護費	7.45	15.62%
4	泵維護費	8.14	17.06%
6	人手	6.56	13.75%
7	維護配件	0.03	0.06%
8	水質採樣	14.14	29.64%
	每年總額	47.71	100%

表 6:當前運行費用一覽表

序號	工程及費用名稱	金額(萬元)	所佔比例
1	水費	145.2	100%
	每年總額	145.2	100%

10.1 工程直接投資費用約為 1230 萬元；再生水處理經營成本約為每年 48 萬元。

10.2 根據以前的數據，現在用於灌溉和沖廁水費總金額為每年 145 萬。因此，本項目長期是非常符合成本效益。

## 11 結論

11.1 工程完成後，地下蓄洪池上蓋會重鋪草皮及進行綠化工程，美化環境。

11.2 展望將來，香港特別行政區渠務署會繼續向香港市民提供優質的防洪基礎建設，減少水浸對商業和居民的影響。跑馬地地下蓄洪計劃的建造工程已於2012年展開，現時進度理想。我們相信，待工程完成後，我們作為優質城市的整體社區環境會得到進一步提升。

完

正文字數：3938