

默克純水報 H₂O 教室

親愛的純水用戶：

您好。

在上一期純水報中，我們討論 ICP-MS (感應耦合電漿質譜儀) 的基本的運作原理及水中污染物質對此分析實驗可能造成的影響。

此期純水報，我們將為您介紹一個基本但很重要的觀念：純水的儲存。純水有好的儲存條件，方能降低水中污染物質的含量。且即使水系統產製高品質的純水，但沒有適當的儲存，最終取得的純水品質仍可能大幅降低。故此，此期純水報，我們將專注討論如何達到最佳儲存純水的條件。

再次感謝您的閱讀，也希望此篇文章對您的實驗或研究有很大的幫助！



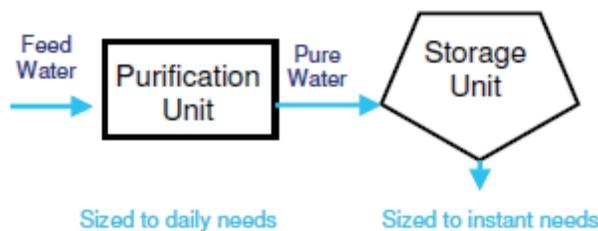
第十七期

「如何達到實驗室純水儲存的最佳化？」¹

2014. 04. 14

純水為何需要儲存？

純水今日可藉由數種技術的結合純化而產生，然而，當實驗室純水需求量增加的同時，這些技術所需的花費及所佔的空間亦會增加。為要讓水純化技術得到最佳的果效，實驗室一日所需的用水量，及實驗用水取水所需流速的評估，皆變得很重要。



純水儲存其中一個好處，是當晚上儲存起來後，可供隔日白天實驗所需。當然，實驗室應用種類，及實驗室的環境皆會影響純水儲存的效果。

純水儲存可能存在的風險

純水的儲存無可避免會有一些污染的來源：

- 儲存的容器可能因為材質不同而釋放出不同種類的污染物質：如玻璃器皿會釋放矽跟鈉離子；聚合物的容器會釋放小分子污染物質如塑化劑；金屬材質的容器則會釋放顆粒或金屬離子。
- 有些純化技術可能導致產製的純水中含有微生物 (如細菌或藻類)，這些微生物會污染純水儲槽。
- 實驗室空氣中亦含有不同種類的污染物質，如二氧化碳；若實驗需使用揮發性溶劑，會產生揮發性有機物質；若實驗需用強酸，則可能產生揮發性酸氣體；當然，空氣中亦含有不同種類的微生物。
- 最後，不同儲槽的設計，在取水點處亦可能有其他污染物質產生。

隨著時間越久，純水很可能會再次被污染，研究人員認知此事實很重要，方能設計實驗室中最適當的儲水方式。包括實驗對何種污染物質最敏感，及純水對污染物質最大的容忍度等等。雖然不可能完全杜絕純水的污染，但我們仍需儘可採取最多的因應措施，以降低或延遲純水的污染。

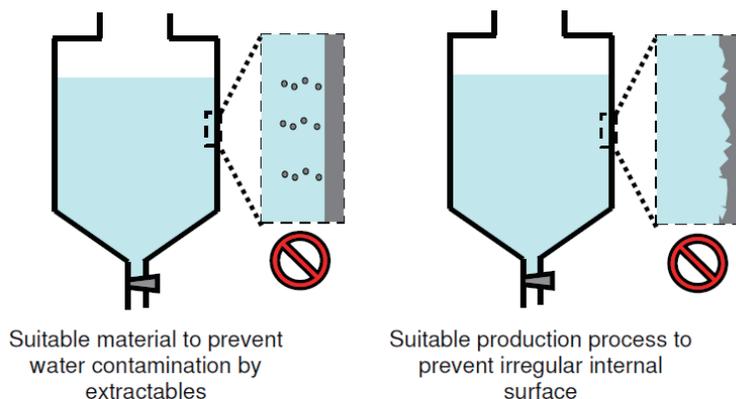
選擇正確的純水儲槽材質

純水儲槽的材質應慎選以防止會影響實驗的物質釋放至水中。然而考量上也許有些困難，因為

有許多因素會影響儲槽內壁物質的釋放。

- 玻璃材質的儲槽會釋放出鈉等離子，或矽等類的膠體。
- 錫或鋼等製成的儲槽會釋放出重金屬離子。
- 有些聚合物材質的儲槽會釋放出 PVC 等塑膠類物質。

通常 PP 或 PVDF 製成的儲槽可適用於大部分的實驗應用。

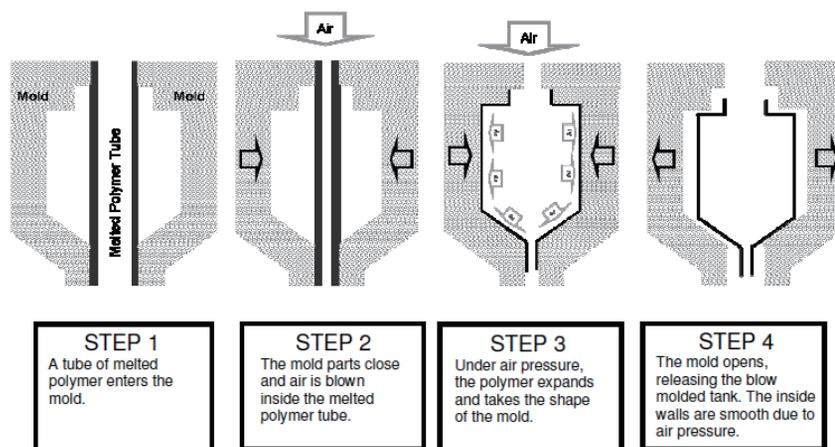


另外，選擇適當的材質與成型過程亦相當重要，若純水儲槽的內壁越平整，顆粒或微生物吸附在內壁上的機率就越小。

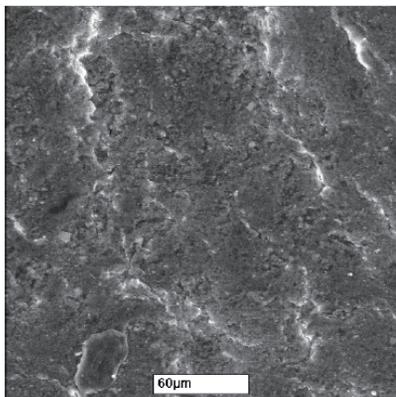
聚合物儲水桶的製造通常藉由兩種技術來完成：

- 旋轉成型 (Rotary molding) – 融化的聚合物利用離心力推壓至模具的內壁而成型。
- 吹出成型 (Blow molding) - 融化的聚合物利用大氣壓力推壓至模具的內壁而成型。此技術的好處是成品的內壁會非常平整，因其表面是在大氣壓力之下空氣分子得推壓來塑型的。

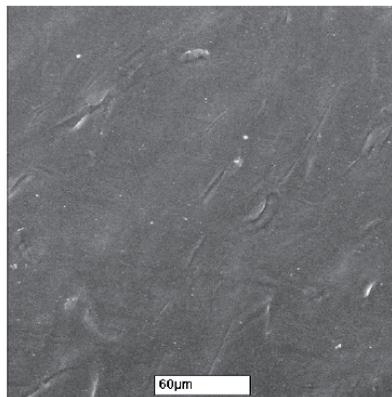
吹出成型可用下圖簡單示意：



下方兩照片分別顯示以旋轉成型 (左) 與吹出成型 (右) 所製成的儲槽內壁表面，由照片我們可清楚看到，吹出成型所製造的內壁相對來說平整很多，因此此法可降低細菌吸附在其表面的風險。



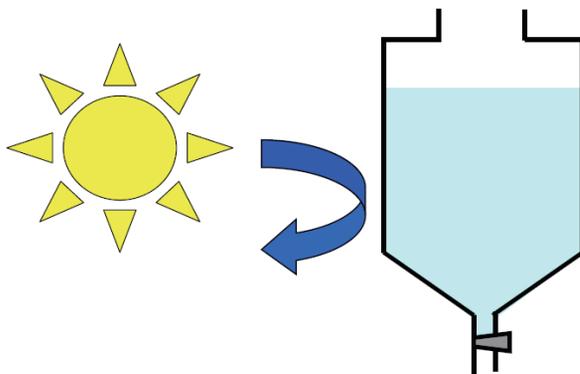
PICTURE 1
Tank Surface – Rotary Molding



PICTURE 2
Tank Surface – Blow Molding

避免藻類的生長

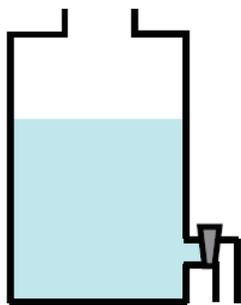
避免使用透明或半透明的儲槽亦很重要，以阻止光的透進而使藻類在其內生長。儲槽應使用不透光的材質。



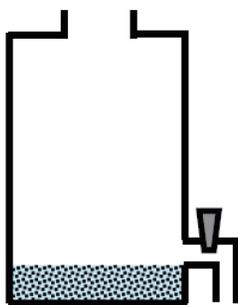
Opaque walls to prevent the passage of sunlight & development of algae

避免使用水平的儲槽底面

即使純水儲槽的材質已正確選擇，污染物質的堆積仍應避免。為此，實驗室應該避免使用水平的儲槽底部 (如下圖所示)，以防止污染物於底部堆積。



Flat Bottom Tank



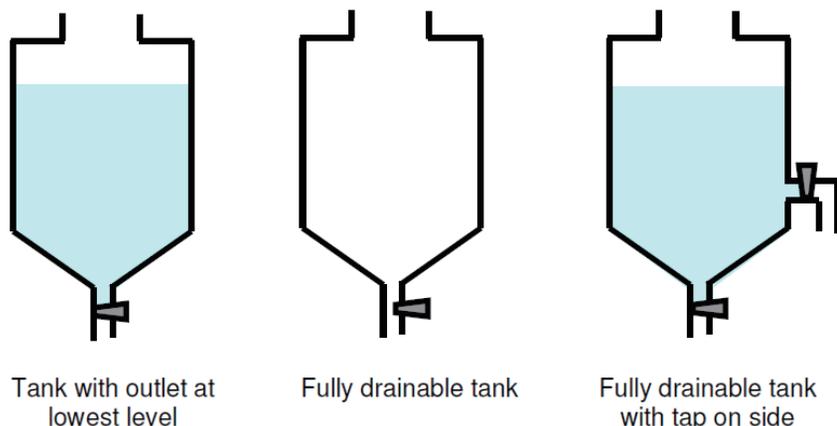
Contaminants accumulation



Avoid Flat Bottom Tanks

上方這些圖顯示，儲槽的取水口比底部高出幾公分，會導致儲槽底端有一個容易沉積污染物質 (如顆粒或微生物) 的空間，而助長生物膜 (biofilm) 於儲槽內壁生長。

為避免污染物質的堆積，並biofilm的生長，儲槽應被設計成可完全將水排盡，因此，在儲槽最底端設計一個出水口，使儲槽可以將水完全排乾，可杜絕污染物質的堆積。



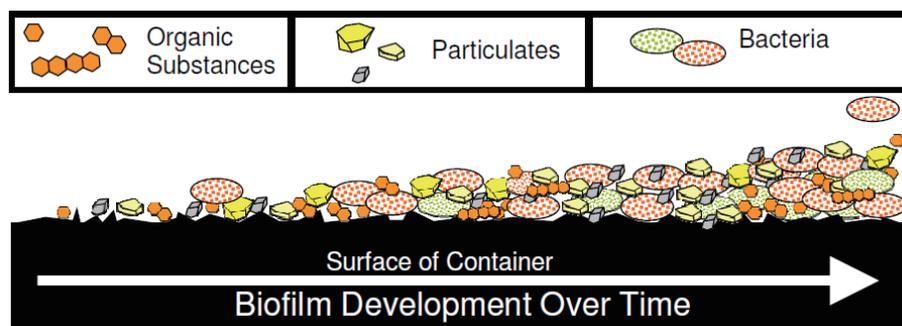
對於細菌/微生物很敏感的實驗應用，可定期將儲槽的水排乾再重新儲水。當然，可同時在比底層稍高處的桶壁上設置取水裝置，方便使用者隨時取水，及在最底端設置排水閥，既方便儲水又可防止污染。

防止 biofilm 生長

什麼是 biofilm (生物膜)?

Biofilm 是累積在容器表面的顆粒及有機物質 (大多為活或死的細菌) 複合物，而形成的黏滑狀薄膜。事實上，有些細菌可形成細胞外的多醣鏈，並結合在一表面上，隨著時間過去，菌落之間會互相聯繫而形成一整片的 biofilm。

一個不平整的表面很可能會促進 biofilm 的生長，因其提供有機物、顆粒或細菌可結合的空間。若某容器表面有較不常清理的死角，biofilm 亦會在其中生長繁衍。



一旦 biofilm 在容器中產生，該容器就不再適合儲存純水了。即使製造了高品質的純水進此儲槽內，仍會因有機物質及細菌快速溶入水中而造成污染。

如何降低 biofilm?

用次氯酸鈉 (Sodium Hypochlorite, NaOCl) 等化學溶液來進行儲槽的消毒，對於去除 biofilm 仍是困難的，因 biofilm 是一層很緊密的結構，化學物質在其中擴散緩慢，因此細菌不易被分解。通常，欲處理一個 biofilm 已生長一陣子的容器，只能有短暫的效果，且幾週後因埋藏在 biofilm 內層仍有活性的細菌又再複製，原來的污染狀況又會再度回復。

biofilm 有時可用機械方法去除，例如徹底且劇烈的擦洗儲槽表面。機械式與化學消毒雙管齊下，亦可以取去除 biofilm，然而是一個冗長耗時、且效果不能確定的方式。

就某個程度來說，水的品質本身也是避免細菌生長的因素之一：若水中可溶性離子含量很低 (25 °C 下比阻抗值 > 5 MegOhm.cm)，有機物質含量亦很低 (TOC < 50 ppb)，對微生物來說即是一個很挑戰的生存環境。這樣的純水環境降低了微生物的養分，且會提高這些微生物內部的滲透壓，使這些微生物被驅使溶進水中，純水溶進微生物中，意味著阻止微生物的聚集繁衍。

這就是為何只有特定種類的細菌會在這樣困難的環境生長，因此純水中 (尤其是 RO 水) 通常只會發現以下種類細菌：Ralstonia pickettii, Burkholderia cepacia, Sphingomonas paucimobilis, Brevundimonas vesicularis, Pseudomonas aeruginosa。另外，Stenotrophomonas maltophilia, Sphingomonas spiritivorum, Chryseomonas indologenes, Methylobacter mesophilum, Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas stutzeri 亦會在實驗純水中被偵測到，但頻率更少。當然，會污染純水的細菌種類通常同時是在實驗室空氣中、實驗室設備或樣品表面、實驗人員身上存在的種類。

純水的品質雖然可抑制微生物的生長，但不是完全地抑止。水的品質可能會隨著儲存時間而下降，例如空氣中會有二氧化碳、揮發性有機物質、無機物質等溶進水中，造成水的污染。因此，要預防 biofilm 的生長，需要其他的防護措施。

針對避免 biofilm 生長設計適合的純水儲槽

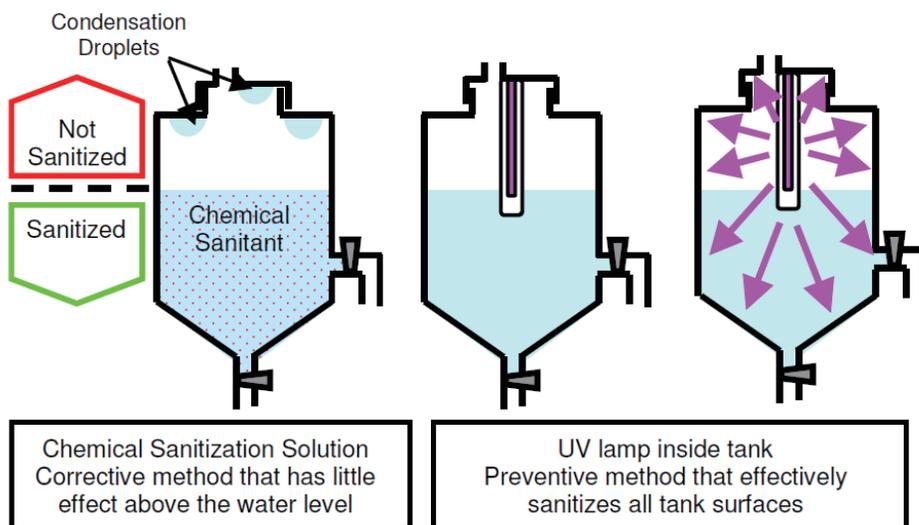
純水儲槽的設計上，應考量如何有效防止 biofilm 的生長。隨著時間的演變，有不同的解決方法被發展出來，這些方法的設計，需要因應不同環境、實驗類別及水質需求而有不同的規劃。舉例來說，製藥業的生產單位會在不銹鋼桶槽中儲水，並以 80 度高溫加熱處理，以降低細菌的生長。這雖是工業界可被接受的製程，但在一般實驗室中卻難以實行，原因有：設備成本及能源花費很高；純水無法立即使用；人員傷害風險高；純水被重金屬污染的風險等等。

因此，純水的儲存需要同時考量幾個因素：除了避免細菌污染外，安全性、立即和方便簡易的取水、水質的保持、設備及運作成本低等等。

在儲槽設計的過程中，桶壁應避免有過小的角度，因這樣的空間較易讓微生物生長繁衍。最理想的儲槽設計，應是平整圓滑的。

將水完全排放亦是一項必要的考量，然而除此之外，還有其他因素需被考量，以防止 biofilm 的發展。下方示意圖顯示，化學消毒法可能不是一個有效排除細菌污染的方法。除了因 biofilm 會保護其內部的細菌外，另一個化學消毒法效果不彰很主要的原因，是因為化學藥劑只會接觸儲槽內水

面以下的空間。儲槽蓋的內壁部份，很可能會附著一些凝聚的水滴，而這些水滴因沒有接觸化學藥劑，會被細菌污染。在這樣的情狀下，即使消毒步驟完成，儲水桶再次儲水，被污染的水滴會掉入純水中而再次造成細菌繁衍及污染，幾週後，污染程度甚至回到還未進行化學消毒之前。



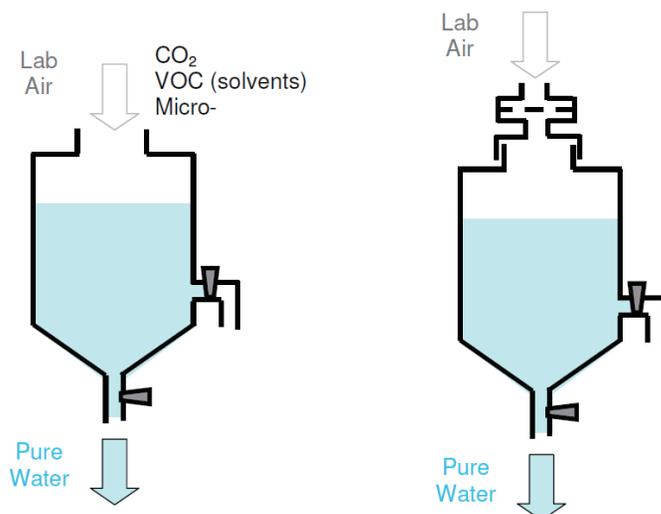
於儲槽蓋上裝置一 254 nm 波長的 UV 燈，可以有效地預防細菌及 biofilm 的生長。這樣的架設，不但紫外光可以接觸水面以下的空間，亦可接觸水面以上的內壁及桶蓋，以達到高效殺菌的目的。通常 UV 燈的開啟時間可以設定，讓儲槽內不論白天和晚上，在重要的時間點皆可照射 UV 光。

當然，雖此法大大降低細菌及 biofilm 生長的風險，但仍不是 100%。儲槽的設計仍應考慮當意外的細菌污染發生時如何應變。各種消毒法的步驟均應適時改良及測試，另儲槽的頂端開口要夠大，使人員可在需要時清洗整個內部的桶壁。

預防空氣中的污染物質

每當純水從儲槽內被取用，會有相同體積的空氣進入桶內，進而帶進污染物質而破壞純水的品質：

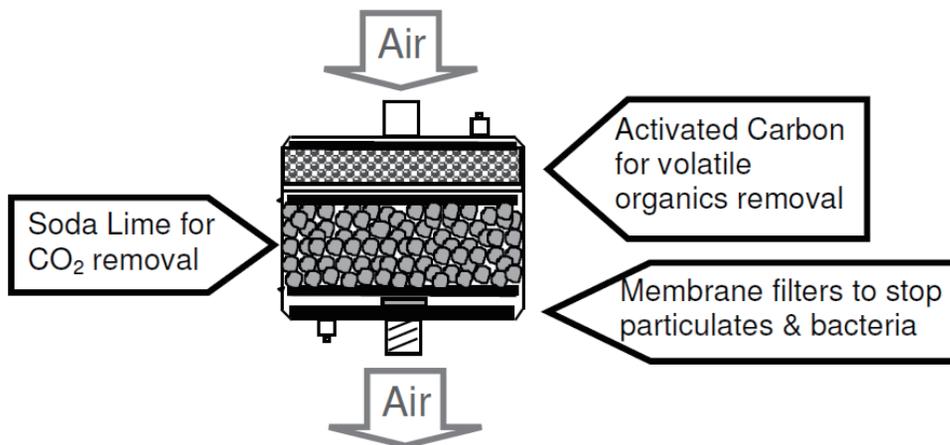
- 一般實驗室空氣一定含有細菌，若這些細菌進到儲槽內，就會開始於水中生長。



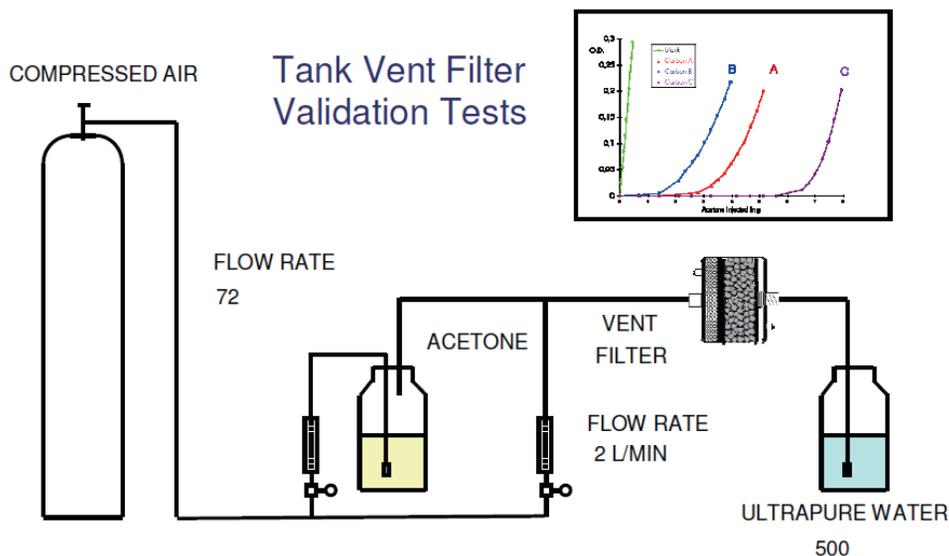
- 任何實驗室空氣中皆含有二氧化碳，當其進入水中，會很快溶解並使比阻抗值降低。
- 實驗室空氣中亦常含有揮發性有機物質，例如丙酮、甲苯等，這些污染物質會使純水 TOC 值增高。

為避免污染物質進到純水中，進入儲槽的空氣必須先經過一些純化的介質，才能有效去除上述不同的污染物質：

- 活性炭可去除揮發性有機物質
- 鹼石灰 (Soda lime) 可吸附二氧化碳
- 濾膜可防止顆粒及細菌通過



當然，以上裝置需經過測試驗證，再選擇能達到預期目標的最佳介質。

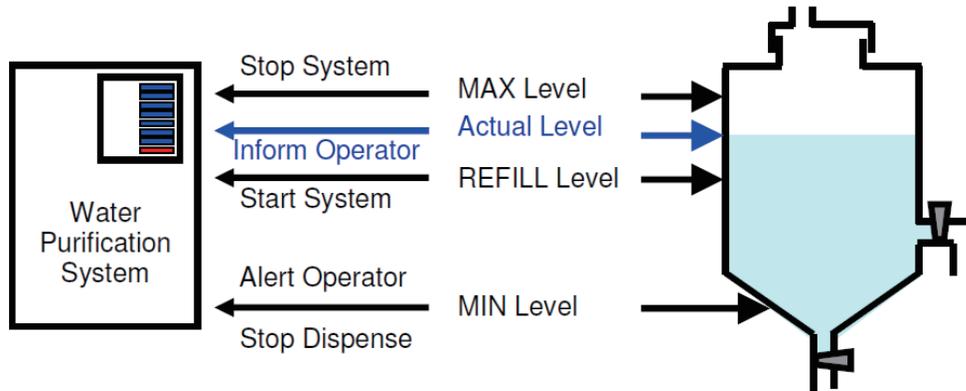


發展水系統與純水儲槽間適當的聯繫

純水儲槽的進水來自水系統，因此兩者間需有很好的運作搭配。一般來說，儲槽水位需被偵測並可於水系統上顯示：

- 最高水位：當儲槽已滿時水系統會停止製水，以免造成實驗室淹水
- 實際水位：可讓使用者隨時知道剩餘的純水體積

- 重注水位：系統會自動啟動純水製造。此水位的設定不但考量到純水的需求，亦考量到水系統的最佳運作條件，因有些水系統技術需要一些時間以達到最佳的效率。
- 最低水位：可提醒使用者水量將盡，以避免空氣進入到儲槽內。



有幾個方式可滿足以上的需求，下圖顯示三種偵測水位的方法，從左到右的設計品質為越來越高：

圖 A：內壁上裝置數個浮動開關。此為最簡易的裝置，但有一些缺點，比方說此方法需要在內壁上鑿洞，且浮動開關提供了細菌一個會繁衍的表面，另外，只有幾個水面的資訊可顯示於水系統上。

圖 B：儲槽內裝置一防水塑膠管，上面包含一微開關，開關上有一磁鐵浮球，會沿著塑膠管上下移動，而在特定時間點，開關會被磁鐵啟動。此法的好處是儲槽被污染的機會低，並可以提供較多關於水位的資訊，甚至儲槽水位只有 2 公分時都可以被偵測到。

圖 C：利用非侵入性的方式，如超音波或光學偵測器來偵測儲槽內的水位。此法可提供使用者所有的資訊，且純水沒有被污染的風險。

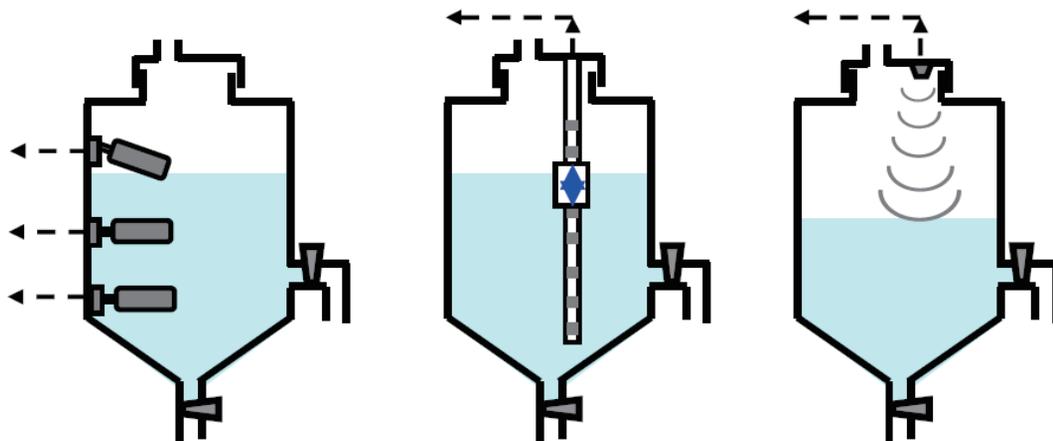


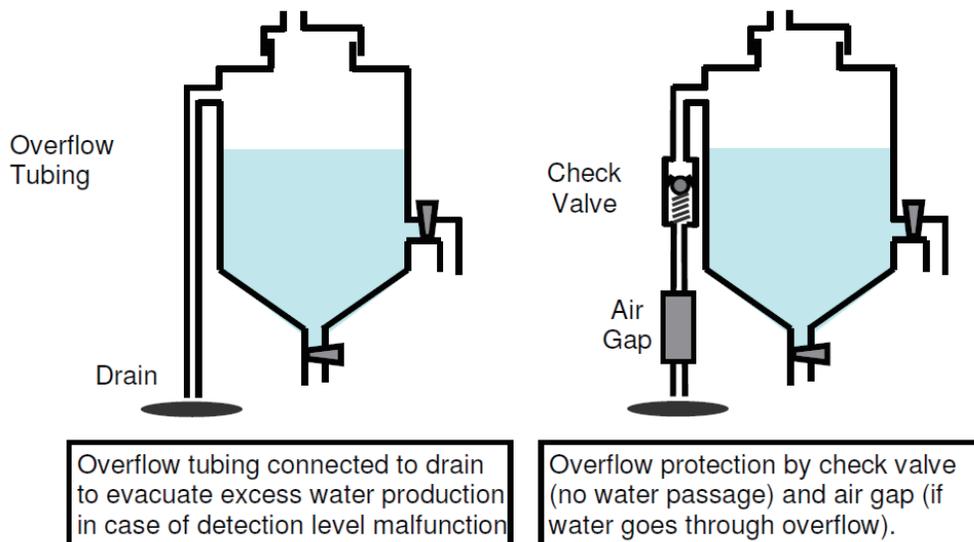
Fig A: multiple float switches connected to the tank wall

Fig B: rod with micro switches activated by floater with magnet.

Fig C: Non-intrusive detection: ultrasonic or optical sensor

然而使用者都應知道，不論選擇何種偵測水位的方式，都有可能發生問題而造成實驗室淹水的情況，或純水儲槽失去與水系統的聯繫。因此，預備好因應措施是必要的。

當純水儲槽未警示系統水位已達最高點，而使系統產製過多的純水，儲槽上裝置的溢流管此時即可確認過多的純水不會導致實驗室的淹水。



然而，若儲槽有裝置溢流管，需更加謹慎，因下方排放水處為細菌污染機率很高的地方。因此，溢流管的出口應該比排放水高，且管上應裝置一閥門，以防止當取用純水時，空氣由排放口進入到儲槽內的水中。此閥門應只在溢流管充滿水的時候開啟，且在管內有純水造成的壓力環境之下。

另一需要留意的是，當儲槽製造過多的純水並超過最高水量，而溢流管的閥門開啟時，水會從溢流管流出並從排放口排掉。此過程有時可能在不經意的情況持續一至兩天，為了防止溢流管壁上有細菌生長，在閥門的下端應加裝一 air gap 來阻止細菌的污染。

產製高品質的純水

純水根據不同實驗的特定需求，應在適當的條件下被取用。例如，當純水是要提供洗瓶機做器皿的最後清洗步驟，純水儲槽下端的出水口大小應該要適宜，方能取用最低壓力且最適當流速的純水。其他取水裝置亦需提前設置，以因應其他實驗室儀器的用水需求。

備註：

1. 資料來源: http://www.millipore.com/lab_water