

# 用水思源

劉廣定

人類生存必需水，其他生物生存也必需水。但需要的不只是「水」，還須注意水的「質」與「量」。《科學月刊》535 期頁 552~558 之拙作已談到全球缺水之趨勢，以及影響生活與衛生的一些情況。中國人常說：飲水思源。其實不只是「飲水」，「用水」就須「思源」，此所以臺北市自來水園區的地址為「思源街一號」。本篇擬續前文，再說明缺水對生活的影響，飲用水以及再生水等一些與化學相關的實際問題。

## 缺水現況

世界衛生組織（WHO）2009 年 3 月曾提出有關缺水的十項事實：

1. 即使降雨量很多或擁有大量淡水的地區，也可能「缺水」。水在社區如何保存、使用和分配，以及供水的品質如何，乃用來決定是否足夠家庭、農業、工業和環境之需求。
2. 全球現約三分之一的人會受「缺水」的影響。由於人口增長、城市化、以及家用與工業用水之需要量日增，「缺水」的情況將愈來愈嚴重。
3. 全球約 12 億人（世界人口六分之一）生活在水源稀少的地區。全球約四分之一的人還生活在因缺乏基礎設施，而須從河流和含水層（aquifer）取水的發展中國家。
4. 「缺水」迫使人們依賴不安全的飲用水源。這也表示他們不能適時沐浴盥洗，也不能適當地清潔衣著或居處。
5. 水質差可以增加霍亂、傷寒和痢疾等腹瀉疾病之傳染，以及他種經水傳播的疾病之風險。缺水會引起沙眼（可以導致失明的眼睛感染）、鼠疫、斑疹傷寒等疾病。
6. 缺水促使人們在自己的家中存儲水。這會增高家庭用水污染的風險，並造成蚊子滋生，使登革熱、瘧疾和其他疾病因而流傳。
7. 「缺水」突顯需要更好的水管理。良好的水資源管理也可減少會傳播多種疾病的蚊子等昆蟲之滋生，與防止血吸蟲病等嚴重水媒傳染病之傳播。
8. 「缺水」讓貧窮的城市和農村社區使用廢水於農業。全世界有 10% 以上的人所消耗的食物是由含有化學品或致病有機體的廢水灌溉產生。
9. 聯合國的「千禧年發展目標」（UN Millennium Development Goals）第七項的具體目標 B（即總目標 10），乃在 2015 年使無法持續獲得安全飲用水與基本衛生設備的人口比例（較 2000 年）減半。「缺水」將妨礙達成此目標之進展。
10. 水是維持生命不可少的資源。如政府和社區組織，能以向人民供應適當量優質水為

優先事項，則民眾可學習如何節用和維護他們日常生活所需的水資源。

近幾年來氣候變化異常，使「缺水」問題更為嚴重。常見某處水災，而他處旱災，或某地區旱澇交替、民不聊生。今年四月出版的《自然·氣候變遷》(Nature Climate Change) 也有四篇相關之評論(頁311~320)，討論西歐幾國應對之道。除廢水回收再用，節約用水外，還須考慮改變生活、生產方式。例如英格蘭東安格利亞(East Anglia)地區的安格利亞水供應公司(Anlian Water Services Ltd) 2013年有六百餘萬使用者，1124個處理中心每天收集並釋出逾9億(10<sup>8</sup>)公升處理過的廢水。目的是不汙染環境，或再利用。又如英國南非米勒釀酒公司(SABMiller)的「大麥計畫(Barlay Project)」，在印度拉賈斯坦邦(Rajasthan)改進種植與生產大麥方法，目標乃2015年生產每公升啤酒的用水量，須比2008年少25%。

## 水之處理

維護人類健康乃永續發展之一要點。為維護健康則不但食用的水必須合乎衛生條件、防止汙染，洗滌衣物廚具之用水也宜達到衛生條件，甚至農業用水之汙染亦應力求避免。固然全球「缺水」問題日益嚴重，為求防患未然，民生用水須經處理以維持一定的「淨化」標準。另一方面，回收水之處理再用，也須努力以赴。

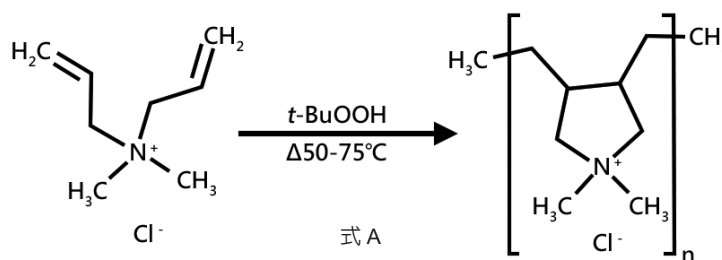
「鹽水」淡化，耗費能源和金錢都很多。一般的「淡水」水源為地面水或地下水，有時稱為「原水」。自水源取原水，處理後輸送到用戶的過程稱為「供水」。通常可分為農業用

水，工業用水與家庭用水(自來水)。處理的程序首先是「分析」，了解成份後決定如何「淨化」。內容包括混凝、沉澱、過濾、除臭、軟化及消毒等淨水的程序。所謂「軟化」是除去鈣、鎂離子(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>)等以免產生脂肪酸鹽或碳酸鹽等不溶物，堵塞排水管線、形成鍋爐之垢，或引致「腎結石」，「關節病(arthrosis)」等人類症候。「消毒」通常是指殺菌與滅病毒等，另外還要除去於人及環境有害化學物質，以維護健康之生命。

水的淨化處理有以下主要步驟：

### (一) 去除懸浮物

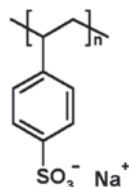
利用傳統的靜置沉澱和過濾，亦可使用帶有多電荷之離子性物質如明礬，或高分子聚電解質如四級銨鹽「氯化二烯丙基二甲基銨」的聚合物(Polydiallyldimethylammonium chloride, 簡稱PDADMAC, 式A)，以加速凝結和沉澱。



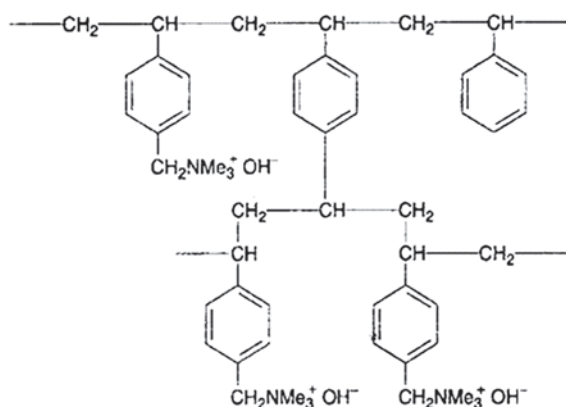
### (二) 去除溶解物質

利用「通入空氣(aeration)」除去氣體及低沸點物，或傳統的化學沉澱法除去水溶性污物。也可用活性炭、活性氧化鋁等，或選擇性薄膜、螯合劑，甚至某些特殊物質除去特定溶解物。例如以鐵鹽、氧化鐵、或鐵屑除去磷酸鹽、砷酸鹽、及亞砷酸鹽等。離子交換樹脂(陽離子交換樹脂，式B；陰離子交換樹脂，

式 C) 則常用於家庭和化學相關的實驗場所，除去特定離子及調整 pH 值。



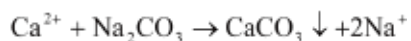
式 B



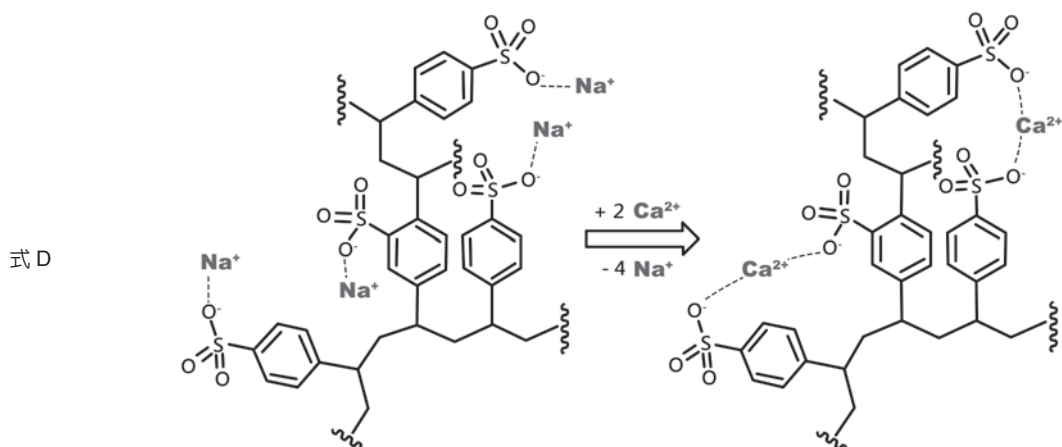
式 C

調整 pH 值也可用化學品如石灰或明礬等。

以「硬水軟化」為例，可添加碳酸鈉（蘇打）以生成碳酸鎂和碳酸鈣沉澱。



或用陽離子交換樹脂（式 D），



式 D

唯須注意，鈣、鎂離子為人體之必需，故水中鎂離子不宜低於 10 mg/L，鈣離子不宜低於 20 mg/L。

### （三）消毒

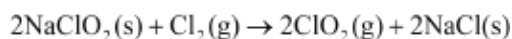
乃淨化公共用水過程中最重要的步驟。前文（《科學月刊》535 期頁 552~558）所述的「過濾」與「日照（紫外線）」法之外，一般多用「氯氣」，或「二氧化氯」、「臭氧」等效率較好的氧化性氣體，可以殺菌、除病毒，也有除臭（例如 H<sub>2</sub>S）之作用。因氯與水起反應產生有良好消毒作用的次氯酸：



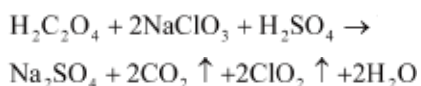
故使用漂白粉（次氯酸鈣與次氯酸鈉）消毒殺菌也有相同效果。唯以氯或漂白粉處理時會產生一些對於人體有害的含鹵素有機化合物。又由於次氯酸並不十分安定，已處理過的清潔水中還須加入氯氣，以保障輸送之水在管線中較長時期後，仍維持含有適量次氯酸以消除滋生的細菌。因此，造成飲用水中之異味，使用者常煮沸後維持繼續沸騰稍久。此舉雖是為了安全和除去異味，但從永續發展的觀點來看，卻是浪費能源（已煮沸還繼續加熱）與資源（使

用過量消毒劑)。一種改進方法是距淨水廠出水口某一定距離處之輸水管中設有監測器,察覺微生物已滋生到某一程度時,才加入適量消毒劑。則可避免使用過量化學品,也可節省能源消耗。

用臭氧消毒比用氯更有效,且不會產生三氯甲烷等有害人體之物。但臭氧在水裡的溶解度很低,仍須添加一些氯,以維持長效的消毒效力。二氧化氯沸點 11°C,水溶性比氯大,消毒效力比氯好,也不會產生三氯甲烷等物,近年來使用者愈多,製法也有改進。原由亞氯酸鹽與氯製造:



最近有一種新的製法,乃在酸性溶液中用草酸(H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)還原氯酸鈉而得:



此法的最大特點是由於反應過程中生成的二氧化碳的稀釋作用,提高了生產及儲存、運輸的安全性。唯二氧化氯帶有未成對電子(式E)是一種自由基型強氧化劑,水中不宜含有過量。

二氯異氰尿酸鈉(Sodium dichloroisocyanurate-

anurate, 簡稱 NaDCC, 式 F) 乃白色結晶粉末,易溶於水,對大腸桿菌、痢疾菌、A 型肝炎病毒等殺滅能力極佳,是一種新的攜帶式消毒劑。

## 飲用水水質標準

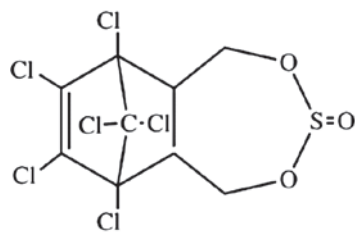
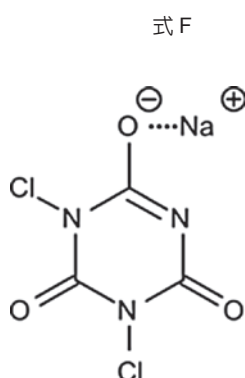
據估計,平均每人每天至少需用 20 公升的水,其中飲食約 2 公升。飲用水每人約 1.5 公升,量雖不大,但其品質卻極重要。民國八十七年二月四日行政院環境保護署(87)環署毒字第 004428 號令訂定發布全文九條,後又經幾次修訂,最近一次是民國 103 年 1 月 9 日,自 7 月 1 日起實施。其化學物質的標準限定如下(單位,mg/L):

(一) 影響健康物質:

1. 鎂(2.0)、鎳(0.1)、砷、鉛、硒、銻(以上皆 0.01)、鉻(總)(0.05)、鎘(0.005)、汞(0.002)等;亞硝酸鹽(0.1)、氰鹽(0.05)
2. 消毒副產物:亞氯酸鹽(1.0)、溴酸鹽(0.01)、三鹵甲烷、含鹵乙酸(以上皆 0.08)



式 E



式 G

- 揮發性有機物：三氯乙烯（0.005）等 15 種，限定值略有不同
- 農藥：安殺番（Endosulfan，式 G，0.003）等 13 種，限定值略有不同
- 持久性有機物：戴奧辛（Dioxin）類（ $< 10^{-9}$ ）

（二）可能影響健康物質：硝酸鹽（10）、氟鹽（0.8）、鉛、銻（以上皆 0.07）、銀（0.05）

（三）影響適飲性、感觀物質：鋅（5.0）、銅（1.00）、鋁、鐵（以上皆 0.3）、錳（0.05）、硫酸鹽（250）、酚類（0.001）、陰離子界面活性劑（0.5）、氯鹽（250）、氨（0.1），總硬度（ $\text{CaCO}_3$ ，300），總溶解固體量（500）

（四）有效餘氯限值範圍：0.2~1.0 mg/L

（五）氫離子濃度指數：pH 值 6.0~8.5

這些數值在不同國度，略有出入，主要依自然水源之成份，以及可能污染情況而定。例如美國規定 pH 值為 6.5~8.5，亞硝酸鹽為  $< 0.05 \text{ mg/L}$  較臺灣嚴，但氟鹽為  $< 1 \text{ mg/L}$  較臺灣寬；又如美國規定鈾  $< 0.001 \text{ mg/L}$ ，臺灣未規定，而臺灣規定了安殺番的含量但美國卻未規定。許多國家規定，「自來水」必須符合飲用水的水質衛生標準，而可直接生飲，否則要經過煮沸才可飲用。

水源可能遭受未預期之污染，則政府必須劍及履及，速予處置。如今年一月美國西維吉尼亞州的麋鹿河（Elk River）水源因伊士曼公司儲存之 4-甲基環己甲醇（4-methylcyclohexylmethanol， $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CH}_2\text{OH}$ ）洩漏而遭污染，州政府與聯邦政府立即採取管制行動。

不像在臺灣，遇到污染事發，地方政府推諉，民意代表護航，而不顧民眾健康之重要。

### 再生水

再生水（Reclaimed water），是將廢水或用過的污水經過回收、處理後再用，亦稱回收水。由於日本語稱水源「供水」為「上水（じょうすい）」，回收用水為「中水（ちゅうすい）」，排放之污水稱為「下水（げすい）」，所以也有人稱再生水為中水。雖然無論何種水，皆須淨化處理，過程也相似。唯污水成份更複雜，處理較為困難，例如常須用更強的氧化劑：臭氧 / 過氧化氫，紫外線 / 二氧化鈦，鐵 / 臭氧，或其他 Fenton 試劑等。因此一般只收集比較清潔的污水，如盥浴、洗滌用水、家庭、廚房用水、游泳池用水等加以處理。另一方面，「再生水」不易達到飲用水的衛生標準，故常不用於飲食及烹飪，而用於農業及庭園灌溉、工業冷卻及鍋爐用水、沖洗街道車輛、運動場所、消防以及廁所等處。

以臺灣灌溉用水之水質標準而言，pH 值 6.0~9.0，影響健康物質限值（mg/L）如鎳（0.2）、砷（0.05）、鉛（0.1）、硒（0.02）、鉻（總）（0.1）、鎘（0.01）等，與美國之灌溉用水相同，但都比上文所列的飲用水標準為寬，表示處理過程較易達到標準。國外的情況也類似，故「再生水」常用於農業灌溉。然而，有些國家的地區對農業灌溉用水並不管制，也不經處理就直接使用。據 2008 年的統計全球 47 國每日使用約 5 千萬噸，或 500 億（ $10^8$ ）公升的再生水（210 億）和未處理之廢水（290 億）。再生水中美國 76 億公升為最多，沙烏地阿拉伯 18.5 億公升居次，墨西哥佔 7.7 億，中國大陸佔 6.7 億。但未處理之廢水，中國大



陸使用 141 億公升，墨西哥使用 136 億公升，共佔超過 95%，其餘智利 5 億，秘魯 2 億等。這 290 億公升未處理之廢水絕大多數乃用於農業灌溉。

由於世界淡水資源匱乏，再生水愈來愈受重視。淨水方法改進外，將處理過的再生水另設管道之二元供水系統也在不斷發展中。以再生水用做為庭園維護、道路清潔、汽車沖洗、噴水池、消防、廁所、及冷卻設備用水等已是未來都市發展之趨勢。其他如農業灌溉、畜牧養殖、工業、礦業等使用再生水也是追求永續發展必行之道，我們不可忽視。

### 延伸閱讀

1. Escobar and Schäfer, Ed., *Sustainable Water for the Future: Water Recycling versus Desalination*, Elsevier, 2010.
2. EPA(USA), *2012 Guideline for Water Reuse*, USAID.
3. *Water Reuse: Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*, National Academies Press (USA), 2012.

### 餘話

現在不少人喜用瓶裝水或礦泉水，認為飲用瓶裝水或礦泉水更健康，更好。真的嗎？艾姆斯利 (John Emsley) 於 *A Healthy, Wealthy, Sustainable World* (RSC, 2010) 一書中表示：不見得會更健康，也不見得會更好。至少裝瓶、運輸都消耗能量，用塑膠瓶則造成廢棄物，若以多消費的金錢去買對健康有益的新鮮蔬菜水果，或許更切實際。此說可供讀者參考。

劉廣定

臺灣大學化學系名譽教授

National Education Radio  
教育電台  
聲動全世界

國立教育廣播電台  
National Education Radio

科學月刊  
SCIENCE MONTHLY

金鐘獎肯定的優質電台—值得您收聽  
金鼎獎肯定的刊物—值得您閱讀

教育電台 《科學so easy》

於每月第二個星期六下午2:05~3:00  
製播科學月刊專題

全國調頻網播出

(台北、高雄FM101.7，餘詳見電台網站www.ner.gov.tw)