

淨水工程的問題與展望

The problem of purification Work
and its Future concerns

謝 啓 男

1. 前言

依據自來水法第十條的規定，「自來水事業所供應之自來水水質，應以清澈、無色、無臭、無味、酸鹼度適當，不含有超過容許量之化合物，微生物、礦物質及放射性物質為準。其詳細規定，由省（市）主管機關訂定公告，並報中央主管機關核備。」此為我國訂定自來水水質標準的準繩。故此台灣省及台北市分別公告其自來水水質標準。

淨水處理是針對原水水質中超限的不純物，選用適當的處理方法，達到要求的水質。將原水中超限的不純物加以去除，便能符合飲用水水質標準，是淨水技術問題，做好水源水質的保護以維持水源的潔淨，是污染防治、環境保護問題，而針對特定水源，找尋最佳處理程序，涉及到成本問題，因此就日趨污染的水源，追尋高效率、低成本的處理方式，就是當前淨水工程的問題。

2. 臺灣省自來水水質標準簡介

自來水法是在民國五十五年十一月十七日總統令公告，臺灣省自來水水質標準則在民國六十一年十一月廿一日省政府公告。後來由於實際需要，有 4 次的修正，共有十三條，以第四條至第七條為主要部份，第四條是細菌性標準，為確保衛生安全之規定，第五條是物理性標準，為界定清澈、無色、無臭之範圍，第六條是化學性標準，為有毒物質，可能影響健康之物質，影響適飲性之物質，有效餘氯及 PH 之規定第七條是放射性標準，為銻、鐳 226、總貝他濃度等之規定。以上所規定的限值，應該是合法的最差水質。與世界各國的飲用水水質標準相比較，並不遜色。詳如表一。

※臺灣省自來水公司第七區管理處經理

飲用水水質標準比較表

單位：除濁度、色度、臭度及PH外均為mg/l。

項目	國名	中華民國 1990	美國 1976	日本、韓國 1978	WHO 國際標準 1963
大腸菌類	MPN/100ml	1以下	1以下	不得檢出	10以下
濁度		4	5 (連續二天平均)	2	5
色度		15	15	5	5
臭度		3	3	無異狀	無規定
Pb		0.05	0.05	0.1	0.1
Se		0.05	0.01	無規定	0.05
As		0.05	0.05	0.05	0.2
Cr		0.05	0.05	0.05	0.05
氰鹽 CN ⁻		0.01	無規定	不得檢出	0.01
Cd		0.01	0.01	無規定	無規定
Ag		0.05	無規定	無規定	無規定
Hg		0.002	0.002	不得檢出	無規定
汞		0.8	1.4~2.4	0.8	1.5
氟鹽 F ⁻		10	10	10	40
硝酸鹽氮		10	10	10	0.2
總三鹵甲烷 (年平均值)		0.15	0.1	0.1	0.2
氯鹽 Cl ⁻		250	250	200	400
硫酸鹽 SO ₄ ²⁻		250	250	無規定	400
總溶解固體量		800	1000	500	1500
鐵		0.3	0.3	0.3	0.3
錳		0.05	0.05	0.3	0.1
銅		1.0	1.0	1.0	1.0
鋅		5.0	5.0	1.0	5.0
酚類		0.001	無規定	0.005	0.002
陰離子表面活性劑		0.5	0.5	0.5	0.5
有效餘氯 (自由)		0.2~1.5	0.05~0.1	0.1以上	無規定
PH		6.5~8.5	7.0~10.6	5.6~8.6	7.0~8.5
游離氨氮		0.5	無規定	無規定	0.5
亞硝酸鹽氮		10	無規定	無規定	無規定
總硬度 (以CaCO ₃ 表示)		500	100	300	500
放射能		總B濃度 1000 μμc/l	Ra 226 5 μμc/l	考慮中	總B濃度 1000 μμc/l
γ-BHC (靈丹)		0.004	—	—	—
Endrin (安特靈)		0.0002	—	—	—
KMnO ₄ 消耗量		無規定	無規定	10	10

3. 淨水工程的問題

3-1 原水水質概述

現有自來水水源水質的特徵，大致上或可歸納如下：

a、地下水源水質

a-1 鐵、錳含量常偏高

a-2 因缺氧或污染，呈現相當量的氨氮。

a-3 常含多量的游離碳酸及少量的有機物，利於微生物細菌繁殖，產生臭味。

a-4 沿海地區常見過高的氯鹽含量，尤以澎湖最為嚴重。

b、河川水源水質

b-1 水溫隨季節性的變化差異很大。

b-2 濁度及懸浮固體量隨豪雨、颱風、在短時間內變化差異很顯著。

b-3 有機物質含量偏高，尤以上游承受養豬廢水、工業廢水、家庭污水或工礦廢水排入以及垃圾倒入之河川；在枯流量期間已嚴重變色，而且產生臭味。

b-4 污染的河川，氨氮、鐵、錳、細菌、農藥以及重金屬含量經常偏高。

c、湖泊、水庫水源水質

c-1 鐵、錳、氮、磷含量較常出現且偏高。

c-2 雖然懸浮固體量較少，但往往是很細的膠體，不容易去除。

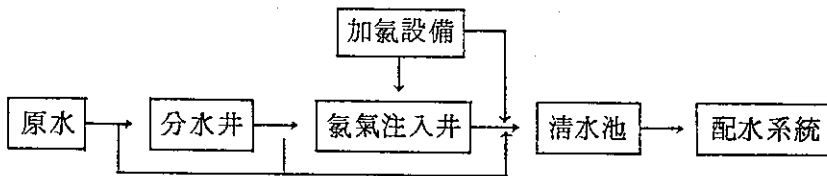
c-3 常有大量藻類繁殖，使水體呈優養現象。且色度常偏高。

由於水源水質經常存在以上這些特性，使得淨水工程的問題，變得很複雜，但是無論如何必須設法將其中超限的不純物去除。

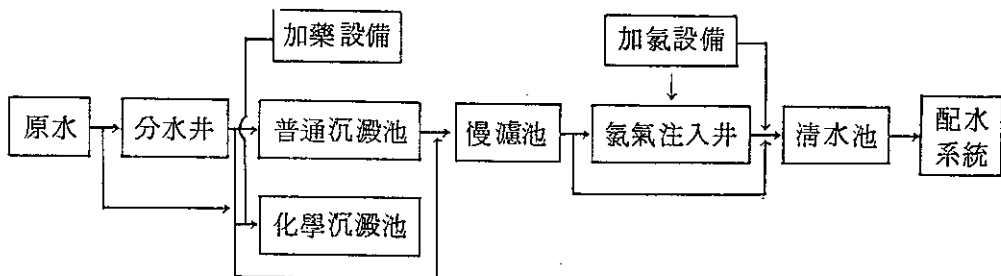
3-2 淨水程序概述

我國當前的淨水場，淨水程序可歸納為下列四種型態：

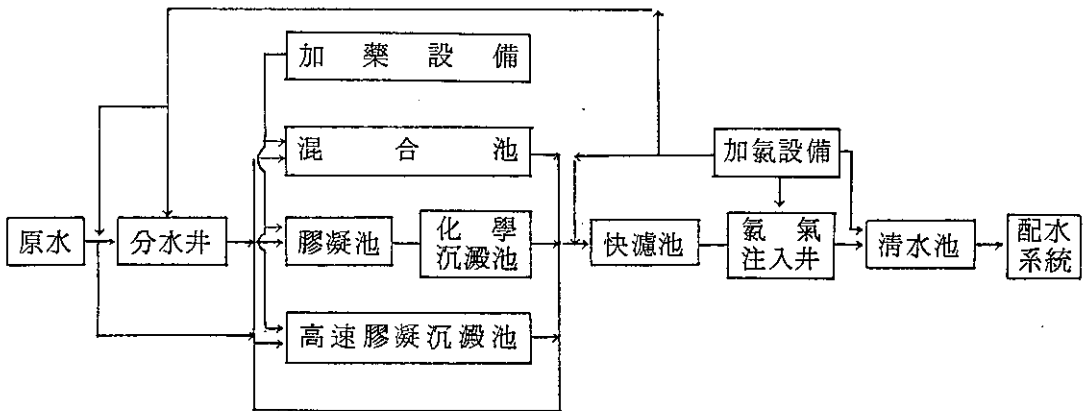
a、僅加氯消毒的系統



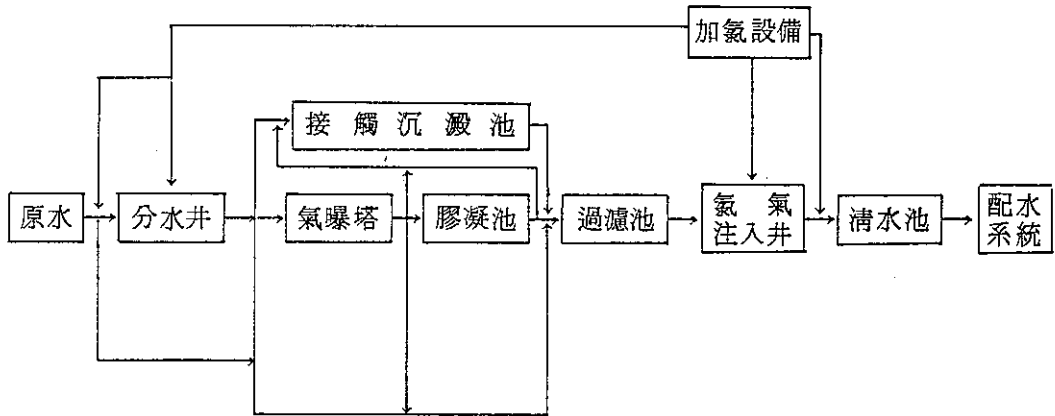
b、慢濾系統



c、快濾系統



d、鐵錳系統



3-3 淨水成效評估

a、鐵、錳之去除

本省原水中鐵錳含量較高的水廠，計有拷潭、石龜、四城等等給水廠。以拷潭給水廠的淨水程序最完整。原水經分水井加氯後送到氣曝塔，再經膠凝接觸而入錳砂快濾池。原水鐵含量曾經高達 $18 \text{ mg} / \ell$ ，錳含量高達 $0.5 \text{ mg} / \ell$ ，但處理效率高達 99%，清水中鐵、錳含量均能在飲用標準限值以內。

b、濁度之去除

取自湖泊、水庫水源之濁度，經常很低一般在 5 單位以下，但取自河川水源的，大多數時間也多在 15 單位以下，唯遇豪雨、颱風期間，在短時間內高達 300 單位以上的很多。就目前的快濾系統，處理濁度在 300 單位以內幾乎可完全去除水中濁度，去除率高達 99% 以上，但遇到 300 單位以上時，如山上給水廠之取用曾文溪水，曾高達 100,000 單位，因該廠有二段沉澱設備，尚能應付，其他給水廠，只能加強混凝，有時被迫減量出水，唯時間不長，二三天過後，均能恢復正常。

c、色度之去除

取自湖泊水庫水源的色度常偏高，以澄清湖原水為例，曾高達 25 單位。取自河川水的，在枯流量期間，相當高，以東港溪為例，曾高達 60 單位但以目前的處理設備，均能百分之百的去除。

d、臭味之去除

取自河川的水源，在已中度污染，枯流量及水溫持續偏高的期間，取自湖泊、水庫的水源，在已優養化，水溫持續偏高及藻類大量繁殖期間，初嗅度偏高。以高屏溪為例初嗅度曾高達 5 度，澄清湖湖水初嗅度曾高達 6 度，但以目前的處理設備均能百分之百的去除。事實上七十一年六月底高雄地區部份用戶曾經反應過水臭，後來經過追蹤調查，發現水臭地區集中在管線末端，且餘氯量在 $0.5 \text{ mg} / \ell$ 以下的地方，同時適值一條 700 mm 大管破裂搶修後，送水量突增，使原先積存於管內的污垢傾瀉而出，而且在高溫的持續下，積垢中的有機物質易於腐敗分解或因微生物作用產生臭氣物質，另加上管末端沒有適時做好排水，等等因素使問題弄得相當嚴重。

e、氨氮之去除

本省自來水水源中氨氮含量超過 $0.5 \text{ mg} / \ell$ 的地方，計有基隆河、急水溪、東港溪等河川，另外石龜及四城的地下水源，氨氮含量也超過 $0.5 \text{ mg} / \ell$ 。目前的處理，都採用前加氯，處理效率 99% 以上。事實上飲用水標準中，重點係針對硝酸鹽氮加以設限在 $10 \text{ mg} / \ell$ 以內。而所有的原水以及清水中硝酸鹽氮均未發現超過限值。

f、藻類之去除

湖泊水庫水源，在氮、磷營養物質豐富，日照時間長，持續高溫的情況下，常有大量藻類繁殖，藻類在淨水程序中，最易阻塞濾池，使濾程縮短浪費洗砂水量，另外，藻類會增加有機物含量引起臭味，若存在於送供的清水中，將消耗餘氯及溶氧，引起臭味，並且意味其他微生物存在，引起衛生安全問題。當前國內的淨水工程，都沒有除藻設備，以澄清湖為例唯一的控制方法，是當藻類總數達到 $5000 \text{ 個} / \text{ml}$ 時，施以 $0.5 \text{ ml} / \text{g}$ 以下的硫酸銅，可將藻類總數降到 $1000 \text{ 個} / \text{ml}$ 左右，再經過混凝、沉澱及過濾程序，清水中藻類總數約在 $300 \text{ 個} / \text{ml}$ 左右。處理效率約有 70%，如不用硫酸銅抑制，則濾程維持不了一天，在淨水作業上會造成很大的困擾。然而，使用硫酸銅抑制藻類過後；卻常使藍綠藻更加繁殖，因此，在優養湖中，以硫酸銅來抑制藻類，似非良策。

g、細菌之去除

以目前的淨水設備，不論原水中大腸菌數有多高，其清水中檢出的大腸菌數皆為零。淨水程序中混凝、沉澱、過濾消毒均能去除細菌，其中以消毒為最有效的消毒方法，國內目前都以氯氣為消毒劑，去除細菌效率高達 99.9% 以上。

h、重金屬之去除

本省自來水水源受重金屬污染的情況並不嚴重，原水中所含各種重金屬所出現的濃度最大值皆低於飲用水水質標準。

i、農業之去除

依據本公司水質研究中心所提報告，水中殘留農業檢驗結果在十七種農藥成份中，僅有 α -BHC、 β -BHC、 γ -BHC及 δ -BHC等微量存在。而此十七種農藥成份中，臺灣省自來水水質標準僅對 γ -BHC及安特靈分別規定為 $0.004\text{ mg}/\ell$ 及 $0.0002\text{ mg}/\ell$ 。而 γ -BHC檢出結果達低於 $0.004\text{ mg}/\ell$ ，安特靈則未被檢出。

j、放射性物質之去除

本公司所有水源中，均未發現放射性物質的污染。

由以上各種不純物的去除效率加以評估，以當前的淨水設備尚能應付，但值得注意的是有機物的污染以及藻類的繁殖，另外，農業、重金屬的污染，也不能掉以輕心。

3-4 水源污染的嚴重性

a、水源中有機物污染的後果

臺灣西部地區做為自來水地面水源的主要河川，諸如基隆河、新店溪、頭前溪、大甲溪、急水溪、高屏溪及東港溪等等，雖均已劃定水源水量水質保護區，但養豬廢水、工業廢水、礦業廢水、農墾污染、家庭污水、垃圾污染等等，似乎是愈來愈嚴重。這些人為的污染帶給水中有機物的量比自然產生量要多得多。因為自然產生量主要來自土壤中溶出排入，動、植物死亡掉入水中分解溶入以及水中細菌、藻類、水生動物新陳代謝排入而已。水中存在大量有機物會引起下列困擾：

- (1)造成色度。
- (2)造成臭味。
- (3)造成微生物孳長。
- (4)造成管線腐蝕。
- (5)干擾水中鐵、錳之氧化功能。
- (6)干擾純水製造功能。
- (7)淨水處理大量用氣，造成影響公眾健康的三鹵甲烷。

臺灣省自來水水質標準，對有機物方面的設限是酚類 $0.001\text{ mg}/\ell$ 、ABS $0.5\text{ mg}/\ell$ 、碳-三鹵甲烷萃出物 $0.15\text{ mg}/\ell$ ，以及一些農藥如靈丹 $0.004\text{ mg}/\ell$ 等等，事實上並沒有解決淨水工程上的問題，因為本省水源中這些設限不純物的濃度達低於標準值。再看看日本或WHO的水質標準，有高錳酸鉀消耗量不得超過 $10\text{ mg}/\ell$ 。此點對解決淨水工程之問題具體而有效。但是以高錳酸鉀消耗量當作有機物污染指標是不是最恰當，尚有爭議是不是以TOC或UV 254或TTHMFP來表示，值得研究。

b、湖水、庫水優養化的後果

優養意謂着水中含營養物質很多，造成某種水棲生物大量繁殖，藻類可以說是最容易看到普遍存在的水棲生物。淨水場操作人員很瞭解藻類會產生臭味及阻塞砂濾池的情形，引起淨水作業的困擾，所以藻類在淨水工程上受重視是必然的。在水廠的記錄裡，藻類是浮游性的生物(Plant plankton)，而不是底棲生物(Benthos)。因此很容易被帶入淨水程序中。

藻類既然是生物，而動物、植物所共有的呼吸特性它應該也有，也就是說吸收氧而放出二氧

化碳。但是藻類卻因為細胞內含有葉綠素，所以綠色植物光合作用的特性它也有，還遠超過它的呼吸作用。

藻類在日照時間所放出的氧，在水中可能造成重要的化學變化與代謝作用。不但可供給魚類甚至很小型態的各種動物呼吸之用，而且可促進好氧性細菌的活動，防止發生腐敗。另外因光合作用的結果不斷地去除水中的二氧化碳，破壞碳酸鹽平衡，將使水中的總硬度減少，同時使PH值發生變化。在日照時間因光合作用CO₂減少PH增高，在夜晚因呼吸作用，CO₂增加PH降低。這樣一來，在淨水作業上，藥品用量需要加以變化。

藻類的更多繁殖，除需要日光、二氧化碳外，必須配合豐富的營養物質，如氮、磷等。大量繁殖的結果，在水面或接近水面之處大量聚集肉眼可見的藻花。除外觀不佳外，會阻礙空氣中的氧進入水中，再加上庫水如呈分層現象，常使低層水中發生缺氧現象。死亡的藻類在湖、庫底遭遇厭氧分解時，更容易造成惡臭。產生臭味的藻類幾乎含藍藻、綠藻、矽藻及鞭毛藻等，而產生的臭有所謂草臭、土臭、霉臭、魚腥臭不一而足，在現代淨水作業上必須重視臭與味的控制問題，供水中如有任何令人不快的氣味，很可能造成消費者另外尋求可口但卻不一定衛生安全的飲水。

藻類的大量繁殖，造成大量的有機物質，嚴重困擾正常的淨水程序，顯然是湖水、庫水優養化的惡果。

問題是自來水水質標準中，對藻類總數並未設限。在淨水工程上對藻類加以抑制是設法要延長濾程，節省洗砂水量。避免臭味要解決淨水工程上的困擾，宜速建立優養指標。

4. 未來展望

淨水工程目的在以工程的設施，來去除原水中超限的不純物，達到飲用水水質標準，所以對水源水質必須要充分的瞭解，然後設法找尋高效率、低成本的處理程序，這也是研究發展上永遠在追求的目標，藉此提出個人的想法：

4-1 河川污染指標應速建立

我國河川分類標準，涉及公共給水的分三級，如表二。

表二 我國河川分類標準（甲、乙、丙類河川部份）

水質標準	水體用途	類別		
		甲	乙	丙
		一級*	二級*	三級*
PH		6.5~8.5	6.0~9.0	6.0~9.0
BOD _s		< 1	< 2	< 4
DO		> 6.5	> 5.5	> 4.5
大腸菌MPN/100mℓ		< 50	< 5000	< 10,000
氟	鹽	< 0.01		
有機	磷	不得檢出		
	鎳	< 0.01		
	鉛	< 0.1		
	鉻（六價）	< 0.05		
	砷	< 0.1		
汞	總含量	< 0.005		
	硒	< 0.05		
酚	類	< 0.001		

* 一級，係指原水經消毒處理即可適用。

二級，係指原水需經一般通用之淨水方法處理方可適用。

三級，係指原水需經特殊或高度處理方可適用。

此河川分類標準之維持，理應由各主管機關加以管制保護，事實上，本省自來水水源有取自超三級的河段，如東港溪港西抽水站之原水，不用嗎？水從那裏來？以目前的淨水設備，還能處理到飲用水標準，誠實可貴。但是，如果污染不加以防治，等到某一天，不能處理到飲用水標準時，問題就大了。因此，除污染防治馬上要做以外，淨水程序的改善也要預為籌謀，尤其河川污染指標應速建立，在歐洲以及日本，以高錳酸鉀消耗量做為河川有機物污染指標解決淨水程序問題，做法如下：

高錳酸鉀消耗量 mg / ℓ	處 理 程 序
< 20	混凝、沉澱、過濾、加氯
< 30	預加氯、混凝、沉澱、過濾、加氯
< 45	粉末活性炭、混凝、沉澱、過濾、加氯
< 75	氣曝、粉碳、混凝、沉澱、過濾、加氯
< 90	氣曝、粉碳、混凝、沉澱、過濾、臭氧、粒狀活性炭、加氯
> 90	氣曝、高錳酸鉀、粉碳、混凝、沉澱、過濾、臭氧、粒狀活性炭、加氯

4-2 湖水、庫水優養指標宜速建立

在歐洲，以生物質量做為優養指標，解決淨水程序問題，做法如下：

優養別	生物質量	處理程序
貧養	< 1	消毒
	< 5	微篩、消毒
	< 10	微篩、混凝、過濾、消毒
中養	< 20	微篩、混凝、預濾、過濾、消毒
	< 50	微篩、混凝、預濾、粉炭、過濾、消毒
優養	< 100	微篩、混凝、預濾、過濾、粒狀活性碳、消毒
	> 100	微篩、混凝、預臭氧、預濾、過濾、臭氧、活性碳過濾、消毒

4-3 水中氨氮去除方法之探尋，值得進行。

美國以及日本的飲用水標準中，對氨氮及亞硝酸氮均無規定，而我國則分別規定為0.5及10，致於硝酸鹽氮，不論我國、日本或美國均設限為10 mg/l。從氨氮的生化程序得知，氨氮藉Nitrosomonas的硝化變成亞硝酸鹽氮，而亞硝酸鹽氮藉Nitrobacter的硝化變成硝酸鹽氮，在硝化過程中均要充足的溶氧，也要營養素，同時會消耗鹼度。基於此，我國水質標準對氨氮設限為0.5，對亞硝酸鹽氮設限為10，而日本、美國的水質標準，對氨氮、亞硝酸鹽氮無規定，個人認為比較合理，因為只要硝化作用的最終產物硝酸鹽氮不超過限值就可以了。

目前水中氨氮去除最普遍採行的方法是加氯處理，但自1974年美國EPA發表，原水經加氯處理後，氯仿會大量增加而THM被認為是致癌物質，因此，找尋水中氨氮去除方法，值得研究。

4-4 藻類去除方法之選擇，值得一試。

在淨水程序前，預先將藻類去除，使濾程延長節省洗砂水量，避免淨水作業困擾，值得一試。依個人所知，現階段藻類去除方法有三種即微篩、浮除及磁落，但到底是那一種處理效率最高，成本最低，值得進一步做模廠試驗。

4-5 清水中有機物量或藻類數目的限值，值得研究。

目前加氯消毒還是最便宜，最有效的方法，為防止在送配水系統中產生三鹵甲烷，到底清水中有機物量或藻類數目能允許多少存在，應該加以研究。

4-6 湖泊、水庫中設法抑制有機物量或藻類繁殖的設備，有進一步研究的必要。

如果湖泊、水庫水有分層現象產生時，將使得底層部份呈現缺氧，造成臭味，如能藉設備來破壞分層現象，想必能抑制有機物量或藻類繁殖。

4-7 水源中有機物的去除研究，值得進行。

研究混凝沉澱之去除效率，過濾的去除效率，或可改變加氯地點，或延後加氯，均有助於用氯量的減少，其他如臭氧或粒狀活性碳之應用效率也值得進行。

4-8 代替加氯的消毒劑及其使用方法，需要進一步的研究。

其他的消毒藥劑除成本要考慮外，是否也會衍生一些可能對健康有影響的物質。水源中有氨氮存在的，應可以氯胺代替氯。

4-9 湖泊、水庫優養化營養質的去除研究也值得以工程的方法避開污染源導水入湖、庫，應該是防止優養化最佳途徑。若能將湖、庫底泥，晒乾挖除，應該是釜底抽薪的辦法，但如能以較省錢的方式，將進湖、庫水的營養質去除，應能抑制或延後優養化。

4-10 農藥及重金屬的去除研究，宜予加強。

雖然現階段，在自來水水源中，農藥及重金屬的污染遠小於飲用水水質標準，但就怕萬一有一天發生原水中農藥及重金屬超過限值，現在如不加強研究，到時恐怕會措手不及。

5. 結語

傳統上，自來水淨水工程的問題，在去除水源中泥砂雜質及可能致病的細菌。近十幾年來，河川污染以及湖泊、水庫水源的優養化日趨嚴重，雖然以當前的淨水設備尚能處理達到飲用水水質標準，但在原水中已發現微量有害物不易在一般淨水方法中有效去除。其存在於送供的清水中與濁度的相關性很差，換句話說，水龍頭流出來的水，看起來很清澈，也無色、無臭味，也沒有大腸菌，不能就此滿意，應該要去注意眼睛看不出來的一些微量有害物。