

美國新飲用水條例

R. S. Engelbrecht
美國伊利諾大學土木工程系教授

約在 1970 年開始，美國的專家學者和社會大眾等開始對於飲用水的安全性提出質疑和關切。因為針對飲用水中所含的有機污染物及對公共飲用水的監督不完備，美國國會乃於 1974 年通過了 " 安全飲用水法案 " (Safe Drinking Water Act)，整個法案傳達關於新時代對於飲用水水質的需求，特別是對於人體健康的危險性觀念。

1974 年安全飲用水法案 (Safe Drinking Water Act, SDWA)

1974 年 SDWA 之主要目的即確保自來水供應系統能合乎最低國家標準，以保障大眾的健康。本法案中的數個條款即明令美國環保署 (U.S. Environmental Protection Agency, USEPA) 建立對於公共用水系統中和健康有關之污染物的標準。經由下列兩個步驟進行：

- (1). 過渡條例，先行援引早期之條款，立即訂定。
- (2). 其次再行評估，人們暴露於飲用水及水中之毒性污染物之影響，再重新審視過渡條例。

本過渡法案訂定於 1975 年，並於 5 年後予以修正。這些法案和標準中 (USEPA) 規定了各項最高污染物水準 (maximum contaminant level, MCL) 定義出公共給水中所允許的最高污染物含量 (表 1)。1974 年因 SDWA 之需求，USEPA 建立了非強制性的第二條例來規範飲用水質之不良影響。例：味覺、惡臭和外觀，雖然聯邦政府並無強制性，鼓勵各州儘量採行 " 第二最高濃度限制 " (Secondary Maximum Concentration Limits, SMCL) 列於 (表 2)。

1986 年安全飲用水法案修正案

SDWA 新修正案於 1986 年經國會通過，這些修正案顯著地補強與擴展 1974 年所通過的 SDWA。1986 年的修正案包含了下列的主要條款：

- 定期地義務重新針對一些新污染物來檢討飲用水條例。
- 對於每一污染物設立最佳的處理技術。
- 對於一些污染物不合乎經濟效益或技術不可行的處理技術，訂定水中所能容忍之含量。

表 1 國家過渡基本飲用水條例

污染物	MCL (強制性) ^{a, b}	
無機化合物		
Arsenic	0.05	
Barium	1.0	
Cadmium	0.01	
Chromium	0.05	
Fluoride	4.0	
Lead	0.05	
Mercury	0.002	
Nitrate (as N)	10	
Selenium	0.01	
Silver	0.05	
Sodium and corrosion	No MCL	(只有監測和報告)
有機化合物		
Endrin	0.0002	
Lindane	0.0004	
Methoxychlor	0.1	
Toxaphene	0.005	
2,4-D	0.1	
2,4,5-TP silver	0.01	
Trihalomethanes (chloroform, bromoform, bromodichloromethane, dibromochloromethane)	0.1	
核放射物		
Radium 226 and radium 228	5 pci/L	
Gross alpha particle activity	15 pci/L	
Beta particle and photon radioactivity	4 merm	(年等藥量)
微生物		
Coliform	< 1/100 ml	
Turbidity	1 TU	(up to 5 TU)

^a每項目也均須監測、報告

^b除特別註明，其餘均採 mg/l 為單位

表 2 國家過渡二級飲用水條例

污染物	SMCL (非強制性) ^a
Chlorid	250
Color	15 color units
Copper	1
Corrosivity	Noncorrosive
Fluoride	2
Foaming agents	0.5
Iron	0.3
Manganese	0.05
Odor	3(threshold oder number)
pH	6.5-8.5
Sulfate	250
Total dissolved solids	500
Zinc	5

^a除註明外，所有單位為 mg/l.

- 基於過濾的需求，包含混凝與沉澱，表面水之供給可有某些例外。
- 所有公共給水均須消毒。
- 禁止用鉛製品於飲用水的管線系統。
- 保護地下水資源。

1986年的修正案也規定國家過渡基本飲用水條例和任何經授權之條例，要事先公佈成為國家基本飲用水條例(Nation Primany Water Regulations)。(表1)。此外，對於每一污染物均建立最大污染物含量目標(MCLG)來保障公眾健康，雖然(MCLG)非強制性，可是仍針對每一未知或預期對人體健康產生不利影響之污染物建立一濃度水平。

此外修正案也表列出一些將成為法定污染物之特定污染物和公告條例的時間表，及MCLG值和處理技術需求，而這些污染物包含了事先於國家過渡基本飲用水條例中所法定之污染物及1986年USEPA所提出之新污染物。而USEPA也被要求以七種新污染物來取代一些原有表列的污染物，如此更可保障公共健康。結果USEPA剔除了鋁(aluminum)、鉬(molybdenum)、銀(silver)、鈉(sodium)、鈾(vanadium)、鋅(zinc)和二溴甲烷(dibromomethane)而取代以磺涕威滅(aldicarb sulfone)、亞碲涕威滅(aldicarb sulfoxide)、乙基苯(ethylbenzene)、七氯(heptach)、七氯環氧化物(heptachlor epoxide)、亞硝酸鹽(nitrite)、苯乙烯(tyrene)。(表3)列出了於1986年USEPA所制定的SDWA修正案，認為因目前資訊對於某些污染物於人體健康之影響不確知。所以要求USEPA除採行修正案外，從1991年起，每三年須至少增列25項污染物，並公告對於一些飲用水中非法定污染物加以監測。

表 3 1986年SDWA修正案之管制法定污染物

	揮發有機化學物質 (VOC)	
Benzene	1,1-Dichloroethylene	Trichlorobenzene(s)
Carbon tetrachloride	cis-1,2-Dichloroethylene	1,1,1-trichloroethane
Chlorobenzene	trans-1,2-Dichloroethylene	Trichloroethylene
Dichlorobenzene	Methylene chloride	Vinyl chloride
1,2-Dichloroethane	Tetrachloroethylene	
	合成有機化學物質 (SOC)	
Acrylamide	Diquat	Picloram
Adipates	Endothall	Polychlorinated biphenyls(PCBs)
Alachlor	ENdrin*	Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs)
Aldicarb	Epichlorohydrin	Simazine
Aldicarb sulfone	Ethylbenzene	Styrene
Aldicarb sulfoxide	Ethylene dibromide(EDB)	2,3,7,8-TCDD(Dioxin)
Atrazine	Glyphosate	Toluene
Carbofuran	Heptachlor	1,1,2-Trichloroethane
Chlordane	Heptachlor expoxide	Trihalomethanes(total)*
2,4-D*	Hexachlorocyclopentadiene	Toxaphene*
Dalapon	Lindane*	2,4,5-TP(Silver)*
Dibromochloropropane(DBCP)	Methoxychlor*	Vydate
1,2-Dichloropropane	Pentachlorophenol	Xylene
Dinoseb	Phthalates	
	無機化學物質 (IOC)	
Antimony	Chromium*	Nickel
Arsenic	Copper	Nitrate*
Asbestos	Cyanide	Nitrite
Barium*	Fluoride	Selenium*
Beryllium	Lead*	Sulfate
Cadmium*	Mercury*	Thallium
	Microbiological Contaminants	
Total coliforms*	Legionella	Turbidity*
Giardia lamblia	Standard plate count	Viruses
	Radionuclide contaminants	
Gross Alpha particle activity	Natural Uranium	Radon
Beta particle and photon radioactivity*	Radium 226 and 228*	

*為1986年前即法定

根據1986年制定的SDWA修正案，USEPA公告對於8項揮發性有機化合物最終條例，且於1987年加入了氟化物之管制(Fluoride)，這些voc最終的MCLG和MCL列於(表4)。在這同時USEPA也對51項非法定的污染物予以監測(表5)。1989年5月則對30項合成有機化合物(Synthetic organic compound、SOC)和8項無機化合物(Inorg-anic compound, IOC)列入條例之中。1991年1月的最終條例正式公告其中33項污染物，另有5項則於1991年7月予以終止(表6)。其中須注意的是兩種SOC，丙烯酰胺(acrylamide)和表氯乙醇(epichlorohydrin)在使用助凝劑時，仍無法去除，所以USEPA提供一種處理技術(加入聚合劑)取代MCL或監測。

表 4 VOCs之最終MCLGS和MCLS

	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)
Trichloroethylene	zero	0.005
Carbon tetrachloride	zero	0.005
Vinyl chloride	zero	0.002
1,2-Dichloroethane	zero	0.005
Benzene	zero	0.005
para-Dichlorobenzene	0.075	0.075
1,1-Dichloroethylene	0.007	0.007
1,1-trichloroethane	0.2	0.2

表 5 非法定VOC之監測

所有系統均需監測		
Chloroform	Tetrachloroethylene	Bromomethane
Bromodichloromethane	Toluene	1,2,3-Trichloropropane
Chlorodibromomethane	p-Xylene	1,1,1,2-Tetrachloroethane
Bromoform	o-Xylene	Chloroethane
trans-1,2-Dichloroethylene	m-Xylene	1,1,2-Trichloroethane
Chlorobenzene	1,1-Dichloroethane	2,2-Dichloropropane
m-Dichlorobenzene	1,2-Dichloropropane	o-Chlorotoluene
Dichloromethane	1,1,2,2-Tetrachloroethane	p-Chlorotoluene
cis-1,2-Dichloroethylene	Ethylbenzene	Bromobenzene
o-Dichlorobenzene	1,3-Dichloropropane	1,3-Dichloropropane
Dibromomethane	Styrene	Ethylene dibromide
1,1-Dichloropropane	Chloromethane	1,2-Dibromo-3-chloropropane
僅需於敏感之系統中		
1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)	Ethylenedibromide (EDB)	
由各州自行決定		
1,2,4-Trimethylbenzene	Naphthalene	tert-butylbenzene
1,2,4-Trichlorobenzene	Hexachlorobutadiene	sec-butylbenzene
1,2,3-Trichlorobenzene	1,3,5-Trimethylbenzene	Fluorotrichloromethane
n-Propylbenzene	p-Isopropyltoluene	Dichlorodifluoromethane
n-Butylbenzene	Isopropyltoluene	Bromochloromethane

飲用水中鉛的濃度也是健康學家所相當關切，眾所皆知鉛會破壞中樞和末梢神經系統，引起腎臟方面的疾病，增加高血壓，影響兒童生理和智能的發展，並會縮短婦女的懷孕期。飲用水中鉛的來源，可能來自水源本身，也可能是鉛焊料或黃銅龍頭或鉛管腐蝕所引起。1991年5月，

表 6 最終MCLGS和MCLS對於SOC和IOC

Contaminant	NPDWR ^a (mg/L)	MCLG (mg/L)	MCL (mg/L)
SOC _s			
Acrylamide	--	zero	TT ^b
Alachlor	--	zero	0.002
Aldicarb	--	0.001	0.003
Aldicarb sulfoxide	--	0.001	0.004
Aldicarb sulfone	--	0.001	0.002
Atrazine	--	0.001	0.003
Carbofuran	--	0.04	0.04
Chlordane	--	zero	0.002
cis-1,2-Dichloroethylene	--	0.07	0.07
Dibromochloropropane (DBCP)	--	zero	0.0002
1,2-Dichloropropane	--	zero	0.005
o-Dichlorobenzene	--	0.6	0.07
2,4-D	0.1	0.07	0.07
Ethylenedibromide (EDB)	--	zero	0.00005
Epichlorohydrin	--	zero	TT ^b
Ethylbenzene	--	0.7	0.7
Heptachlor	--	zero	0.0004
Heptachlor epoxide	--	zero	0.0002
Lindane	0.004	0.0002	0.0002
Methoxychlor	0.1	0.04	0.04
Monochlorobenzene	--	0.1	0.1
PCBs (as decachlorobiphenyl)	--	zero	0.0005
Pentachlorophenol	--	zero	0.001
Styrene	--	0.1	0.1
Tetrachloroethylene	--	zero	0.005
Toluene	--	1.0	1.0
2,4,5-TP (Silvex)	0.01	0.05	0.05
Toxaphene	0.005	zero	0.003
trans-1,2-Dichloroethylene	--	0.1	0.1
Xylenes (total)	--	10.0	10.0
IOC _s			
Asbestos	--	7 F/L ^c	7 F/L ^c
Barium	1.0	2.0	2.0
Cadmium	0.01	0.005	0.005
Chromium	0.05	0.1	0.1
Mercury	0.002	0.002	0.002
Nitrate (as nitrogen)	10.0	10.0	10.0
Nitrate (as nitrogen)	--	1.0	1.0
Selenium	0.01	0.05	0.05

^aNPDWR=國家初級用水條例

^bTT=處理技術；每 1mg/l加 0.005%劑量之丙烯酰胺(acrylamide)
每 20mg/l加入 0.01%之表氯乙醇(epichlorohydrin)

^c百萬纖維/料(只算長於 10 μ m之纖維)

USEPA建立MCLG和“行為水準 (Action Level)”分別為0和0.015 mg/l。在此同時對於鉛的監測也予以建立，若於自來水中鉛含量因配水系統中管線腐蝕而太高，使用者有責任採用州所指定的最佳防蝕之設施來改善，如控制pH、鹼度或鈣濃度加入抑制腐蝕藥劑如正磷酸鹽或矽。而各州也要採用特定的處理，用來處理超過允許鉛濃度的水源，處理方式含離子交換逆滲透膜、石灰軟化或混凝過濾，或其餘具相同效果的處理方式。此外，公共給水若在裝設防蝕設施或水源經處理後，則必須把水中鉛含量超過0.015 mg/l之鉛管替換。每年約7%的鉛管需要更換，所以15年內所有鉛管要全予換新。

地表水處理法規 (Surface Water Treatment Rule, SWAR)

隨著本世紀初水處理改善與給水水處理普及，明顯地減少了因水質所爆發之疾病，但明顯的仍有傳染病的傳播(如圖1)。1950年起對於傳染病的報告有增加趨向，雖然僅有部份傳染病之報告，也許僅低於10%，導致1950年起報告的增加可能是因採樣和分析技術改進而能有較佳的報告。

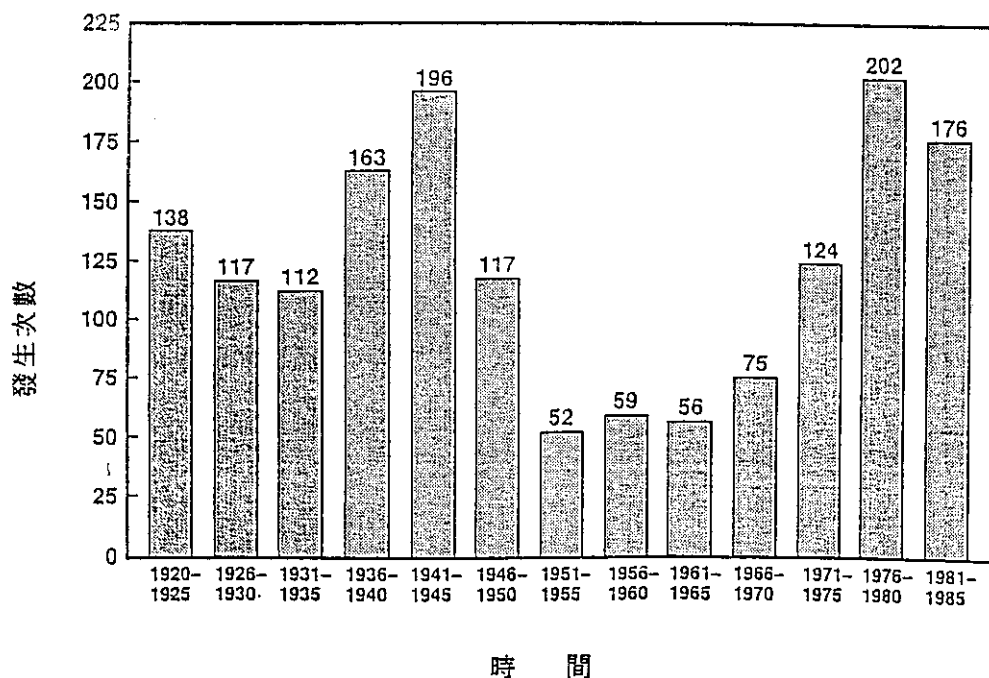


圖 1. 美國1920-1985年 水傳播疾病發生次數

1971年至1985年在美国因水污染引起传染病和案例报告之病因列于(表7)，须注意的是许多水传播之传染病和无法确认的肠胃炎，常找不到病因学的致病因子。这些统计也显示giardiasis是最常由水传播所致之疾病，特别是在确认15年之内。

表 7 1971-1985年间水传染疾病病因之发生和案例

疾病名	发生次数	疾病案例
Gastroenteritis, undefined	251	61,478
Giardiasis	92	24,365
Chemical poisoning	50	3,774
Shigellosis	33	5,783
Hepatitis A	23	737
Gastroenteritis, viral	20	6,524
Campylobacteriosis	11	4,983
Salmonellosis	10	2,300
Typhoid	5	282
Yersiniosis	2	103
Gastroenteritis, toxigenic E. coli	1	1,000
Cryptosporidiosis	1	117
Cholera	1	17
Dermatitis	1	31
Amebiasis	1	4
總計	502	111,228

第一次有关发生水传播之giardiasis或"back-packer disease"发生于1965年在Aspen Colorado。此后美国有关giardiasis之发生迅速增加(如图2)。而giardiasis的病因学之致病原因是来自鞭毛性原生动物

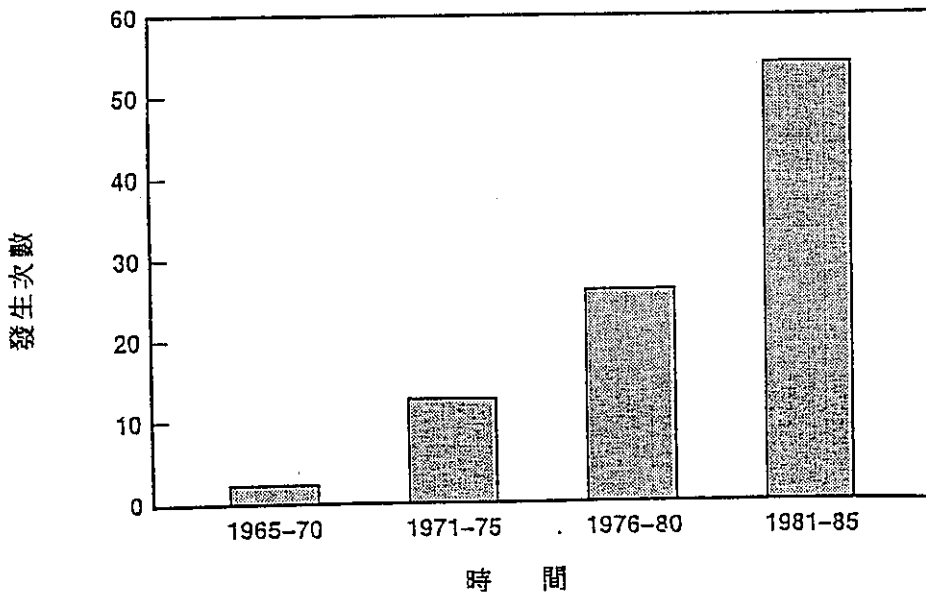


图 2. 美国1965-1985年因Giardiasis发生之水传播之疾病

物 *Giardia lamblia*。如今在美國 *G. lamblia* 被認為是最常引起水傳播疾病的病原菌。

1971-1985年間約有75%的水傳播傳染病(表7)是由污染物或未經處理的地下水或不當處理地下水、地表水所引起，缺乏儲水和配水系統也會使飲用水導致傳染病流行，較重大因由地表水為原水之處理不足而導致傳染病和水傳播疾病列於(表8)。從這些數據中，可顯示受污染的地表水，若不足及充份的過濾或消毒會導致水傳播疾病的蔓延。除此，未處理之地表水例子外，*giardiasis*是最常經由未充分過濾或無效前處理之地表水，或以消毒為唯一處理程序而消毒又受礙之狀況而傳播的，而一些未知病因之腸胃炎則多因使用未處理之地表水引起。

表 8 1971-1985年間因地表水而引起之水傳播疾病

不足之給水	發生次數	疾病案例
Untreated	32	1,719
Inadequate Disinfection (disinfection only treatment)	50	21,166
Interrupted Disinfection (disinfection only treatment)	17	2,115
Interrupted Disinfection (filtration and disinfection)	4	98
Ineffective Filtration or Pretreatment (filtration and disinfection)	20	9,852
總計	123	34,950

儘管以美國幅員或人口數而言，水媒疾病發生次數與案例均屬輕微。但於 1960-1985年間次數與案例的增加，不只引起健康學專家及給水工業的關切，更形成大眾所注意的問題。正由於這些關切，使1986年美國國會通過的SDWA修正案中的部份條款，過濾需納入所有地表水之給水處理中，只有某些例外，且所有給水均需消毒。

依據1986年SDWA修正案之委任，USEPA在1986年6月公告了所謂的地表水處理法規 (Surface Water Treatment Rules, SWTR)，SWTR要求所有以地表水或直接會影響地表水為公共給水水源必需予以消毒程序，也需將過濾納入處理流程之中，除非其特殊之水質要求或地點特殊。

SWTR 並未對濁度、*G. lamblia*、病毒、*Legionella* 或其他如異質菌微生物建立MCLS。一種特殊的處理方式被稱為過濾消毒法 (filtration and/or disinfection) 可達到至少99.9%(3kg)和99.99%(4kg)的去除效率，並使*G. lamblia*和腸內病毒喪失活動力，*G. lamblia*、病毒、*Legionella*的MCLGS設為0。

在 SWTR管制下，公共給水使用地表水或直接為地下水所影響之地表水必須符合若干水源基準或地點特殊之情形來避免符合過濾的需求。例如在水源基準中的一些例子：糞便大腸菌和總大腸菌，分別不得超過 20 /100 ml 和 100/100 ml。最初 6個月在消毒前要超過 10%的水樣分析，而消毒前之濁度不得超過 5個 NTU。

若因地點特殊，而不採用過濾，則消毒須達到去除 99.9%和 99.99% 的 *G.lambli*a和病毒的效果，稍後將討論依其不活動的層次來建立其 CT值。此外，消毒系統須有其他附屬設備，包括備用電力、自動警告和起動系統以確保系統能連線操作或自動關閉配水系統，當消毒劑殘餘濃度低於 0.2 mg/l，當水進入配水系統前消毒劑的殘餘濃度應維持大於 0.2 mg/l。

為避免使用過濾程序，給水系統需要一套好的流域控制程序來減少因人類腸內病毒和 *G.lambli*a cysts污染水源之可能性，這套程序中包括對於流域水質負面衝擊之因素，來加以監測和控制。此外，給水系統必須先前曾有的水傳播之發生予以鑑定。若有前例，則充分的改良是必需的措施。

濁度的限制是有效率之過濾的基準，採用傳統或直接過濾法，則任何時間內濁度不得大於 5NTU，且每月中所取之水樣中不得有 5%以上高於 0.5NTU。若採慢砂濾或砂藻過濾，則過濾水中不得超過濁度 5NTU，每月需有 95%水樣濁度低於 1NTU。

在消毒的案例中，所有給水系統無論採行過濾與否，其水進入配水系統前要有 0.2 mg/l以上的消毒劑殘留，而殘餘量的測定若使用人口少於 3300人，則可定期採樣分析。否則就要採連線監測方式，在配水系統中每連線兩個月中不得有一個月有超過 5%以上的水樣測不到消毒劑。

SWTR主要是將 *G.lambli*a cysts、腸內大腸菌 *Legionella*及其他傳染病微生物予以去除或使之喪失活性，來防止飲用水引起水傳染病。若系統未將其過濾，則將依賴於完善的消毒，所以 USEPA 接受以 CT值來作為消毒效率之決定。CT值是以 mg/l為單位之消毒劑濃度 (C)乘以用分鐘為單位之接觸時間 (T)所得之積，於每尖峰小時中測量，用以預測對特定微生物有多少抑免效果。如 *G.lambli*a就須 99.9%的效果。研究結果指出，藉由不同的消毒劑於有效率的過濾中去除不同的微生物或使之缺乏活性於不同狀況中，除了消毒劑濃度與接觸時間外，微生物缺乏活性的程度也和消毒劑之特性和微生物與 pH值、溫度及水之特性成函數關係。依這些資料，USEPA認為處理效果應達 99.9%的 *G.lambli*a去除或純化及 99.99%的腸內病毒去除或純化。

例如，(表9)列出在 20°C時採自由氯消毒時，要達 99.9% 的去除 *G.lamblia*時之CT值，而CT值則為消毒劑濃度與 pH值之函數。在表中顯示意欲鈍化 (inactivation) *G.lamblia*取決於自由氯濃度和水中pH值，若較高的CT值顯示 *G.lamblia*對於自由氯有較高的抵抗力來防止鈍化，所以在一定的自由氯濃度下，需有較長的時間來達到 99.9%之鈍化效果。相同的，在(表9)中的CT值顯示要達到大於 99.99%之CT值以鈍化腸內病毒。

表 9 20°C時採自由氯達 99.9%鈍化
Giardia lamblia Cysts之CT值 (CT_{99.9})

殘餘量 (mg/l)	pH						
	≤ 6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	≥ 9.0
≤ 0.4	36	44	52	62	74	89	105
0.6	38	45	54	64	77	92	109
0.8	39	46	55	66	79	95	113
1.0	39	47	56	67	81	98	117
2.0	44	52	62	75	91	110	132
3.0	47	57	68	83	101	122	146

(表10)比較二氧化氯、臭氧和氯胺對於在單一CT值及不同溫度時鈍化 *G.lamblia*之效果，氯胺之使用是在 pH值介於6-9之間，而對於鈍化 *G.lamblia* 很明顯的臭氧效率優於上述兩種消毒劑，更遠有效於自由氯(表9)。對於99.99%的鈍化腸內病毒，二氧化氯和臭氧可達效果，而採氯胺也能有此效果，但須先加入氯氣再加入氨氣。

有效率的過濾取決於濁度的去除，也會去除明顯量的 *G.lamblia* cysts和病毒。(表11)顯示不同的過濾技術，對於*G.lamblia*和病毒之log去除效率也一併推薦由消毒來達成之log鈍化效果。

過濾有2log去除*G.lamblia*效果(表11)，(表12)中顯示採用不同的消毒劑之CT值在某些特定狀況中有1log鈍化*G.lamblia*之效果。若採(表12)之CT值的一半，則有0.5log鈍化，而採氯鈍化*G.lamblia*之例子，CT值隨自由氯濃度而變化，(表12)中的CT值自由氯濃度為2mg/l。

必須注意的是僅去除和鈍化 *G.lamblia*要分別考慮由過濾之去除和消毒來過濾之效果，相似的資料是有效於採過濾或消毒來去除或鈍化腸內病毒。

表 10 以二氧化氯、氯胺達99.9%之鈍化
Giardia lamblia Cysts之CT值 (CT_{99.9})

	溫度					
	≤1°C	5°C	10°C	15°C	20°C	≥25°C
Chlorine dioxide	63	26	23	19	15	11
Ozone	2.9	1.9	1.4	0.95	0.72	0.48
Chloramine	3,800	2,200	1,850	1,500	1,100	750

表 11 建議最小消毒層次和內過濾法假設之log去除

	Assumed Log Removals by Filtration		Recommended Minimum Log Inactivation by Disinfection	
	Giardia	Viruses	Giardia	Viruses
	Conventional Direct filtration	2.5	2.0	0.5
Slow sand filtration	2.0	1.0	1.0	3.0
Diatomaceous earth filtration	2.0	2.0	1.0	2.0
	2.0	1.0	1.0	3.0

表 12 達到鈍化1kg Giardia lamblia 之CT值

	pH	溫度			
		0.5°C	5°C	10°C	15°C
Free chlorine (2.0 mg/l)	6	49	35	26	19
	7	70	50	37	28
	8	101	72	54	36
	9	146	146	78	59
Ozone		0.97	0.63	0.48	0.32
Chlorine dioxide		21	8.4	7.4	6.3
Chloramines (pre-formed)		1270	730	620	500

處理技術之選擇 (Treatment Technology Options)

過濾程序的三個基本目的在於去除濁度、色度和諸如 *G. lamblia* 腸內病毒，大腸菌等生物性污染物，其餘選擇考慮過濾程序之關鍵在於沖洗頻率、化學劑需求、操作複雜性和污泥體積及毒性，但這些因子會視廠址而有所差異。

化學混合，混凝-膠凝和沉澱一般是傳統過濾之三個步驟，有時也含於非傳統之過濾之中。因此，傳統過濾系統包含快濾、混凝-膠凝和沉澱，並經由如砂、砂和無煙煤之粒狀，濾床之孔隙介質來過濾，砂、砂可單獨使用(快砂濾法)或合併其他濾料，如雙介質過濾(採砂和無煙煤)，粒狀活性碳(GAC)也用於過濾介質(過濾-吸附)，特別用於控制味道和異味，直接過濾相似於傳統過濾，除了沉澱省略之外，若處理廠採慢砂濾法和砂藻土者，通常不包含傳統三個前過濾步驟。

每一型式濾床之效率和效益和入流水或原水水質是函數關係，當然也取決於適當設計和操作。不同的過濾系統在典型入流水質中所見的效益列於(表13)。傳統濾法包含了快混、混凝-膠凝和沉澱，是一種多面性的過濾系統，經常被採用於入流水多變化之處，不同濾床有效去除 *G. lamblia* 和腸內大腸菌列於(表14)。

表 13 不同過濾系統之入流特性和能力

過濾選擇	濁度 (NTU _s)	色度 (color units)	大腸菌數 (per 100 ml)	典型容量 (MGD)
Conventional	不限制	<75	<20,000	All size
Direct	<14	<40	<500	All size
Slow sand	<5	<10	<800	<15
Diatomaceous earth	<5	<5	<50	<100

1 MGD = 0.044 m³/sec.

表 14 不同過濾系統去除之 *Giardia* Cysts 和腸內病毒

過濾選擇	達到去除 <i>Giardia</i> Cysts效果 (%)	達到去除 病毒之效果 (%)
Conventional	99.9	99.0
Direct	99.9	99.0
Slow sand	99.99	99.9999
Diatomaceous earth	99.99	>99.95

單獨消毒或與過濾合併，可符合SWTR之要求，如99.9%或99.99%，鈍化Giardia和腸內病毒，(表15)列出有效的消毒方案和關於適用性之評論。

表 15 消毒程序

消毒劑	評論
氯氣	最廣泛應用，但其副產品對健康影響引人關切
二氧化氯	以較新之技術，無機副產品引人關切
氯胺	只用於二級消毒劑，會生成某些令人關切之副產品
臭氧	非常有效但要二級相等
紫外線	簡易，不會生成有害副產品，卻須二級相等

目前美國非常流行使用“初級消毒”和“二級消毒”，初級消毒用於鈍化Giardia cysts、病毒和細菌污染物，二級消毒用以控制系統中微生物之二次污染及微生物成長。目前美國的初級消毒多採氯氣(表15)，但二氧化碳、臭氧、UV放射線亦用於初級消毒，除UV放射線外，餘者皆適用於地下水和地表水，UV射線僅適用於地下水，因其不能有效鈍化Giardia cysts，因缺乏維持的殘餘量、臭氧和UV射線需因其不能有效鈍化Giardia cysts，因缺乏維持的殘餘量、臭氧和UV射線需有二級消毒，二級消毒可採用氯氣、二氧化氯、氯胺。

在化學消毒劑中用為生物殺傷劑臭氧效果最好，依次為氯氧化物、氯氣、氯胺，但這些消毒劑的效果也隨著pH值、溫度、水質特性而異。而對於選擇最適用的消毒劑則須考慮其優、缺點，如現場生產方便性、程序複雜性、藥劑監測或控制、殘餘維持、成本。

一個最重要評估消毒劑之因素為達成微生物鈍化速率和不希望之產物生成間達到一個平衡。目前美國最主要的問題在於經由消毒來控制因水傳播而流傳之疾病，卻又得使因消毒副產物(disinfection byproduct, DBP)對於健康危害最低。

例如水中腐植質的氧化會產生乙醛、酮、乙醇和羧酸等產物，在以氯、臭氧、氯氧化物消毒下，這些有機化合物和其他水中物質之鹵化作用(Halogenation)會產三鹵甲烷(trihalomethanes, THM)和其他鹵化有機物(表16) USEPA THM這種鹵化引起之DBP在水中只能在0.1mg/l以下，雖然臭氧和二氧化碳均為有效之消毒劑，但也會導致我們所不樂見的DBP產生。例如臭氧會形成含溴化物之鹵化產物，相似的氯氧化物也會產生氯酸鹽和次氯酸鹽。這兩者均有毒，所以USEPA規定飲用水中氯酸鹽、次氯酸鹽、二氧化氯之總和不得超過1.0 mg/l。

表 16 選擇性氧化劑產品對健康的影響

化學等級	例子	毒性影響
Trihalomethanes	Chloroform	C,H,RT
	Dichlorobromomethane	H,RT
	Dibromochloromethane	H,RT
	Bromoform	H,RT
Haloacetonitriles	Chloroacetonitrile	G,D
	Dichloroacetonitrile	M,G,D
	Trichloroacetonitrile	G,D
	Dibromoacetonitrile	G,D
Haloacid derivvtives	Trichloroacetic acid	HPP
Chlorophenols	2-Chlorophenol	F,TP
	2,4-Dichlorophenol	F,TP
Chlorinated ketones	1,1-Dichloropropanone	M
Chlorinated aldehydes	2-Chloroacetaldehyde	G

C=Carcinogenic G=Genotoxic RT=Renal Toxic
H=Heptatotoxic F=Fetogenic TP=Tumor promoter
D=Developmental M=Mutagenic HPP=Hepatic Peroxisome Proliferation

我們要考慮更多資料來決定 DBP之生成和對健康之危險，眾所皆知有許多條例用以管理，除將公告的 THM外的 DBP，水傳播之疾病須由消毒來防止，而消毒生成之 DBP也要加以控制。在這觀念下 USEPA採取三個策略來控制氯化生成之 DBP：

- (1)加氯前減少水中有機物濃度以減少 DBP。
- (2)DBP形成後要加以去除。
- (3)使用不產 DBP之替代消毒劑。

最佳有效技術 (Best Available Technology, BAT)

1986年 SDWA修正案要求 USEPA針對每一種法定水中污染物建立有效率之處理技術，如最佳有效技術 (BAT)，例如 1987年中所定之 8項 VOC(表 4)之其中 4項即以填充塔曝氣 (pack-tower aeration, PTA) 和粒狀活性炭 (GAC)為其 BAT，只有 PTA是以氯乙炔 (vinyl chloride)為其 BAT。水利用者對於這些污染物則須以已設計之 BAT或具相同處理效果之技術因應之。(表 17)列出一些對於去除有機物有效率之處理技術，並評論其適用性。

(表 18)列出一些法定有機污染物之 BAT，明顯可看出這些有機污染物的 BAT不是 PTA，就是 GAC。混凝-膠凝只適用初步去除濁度和微生物，而有機物去除效果有一定限制。粉末活性炭 (Powder activated carbon, PAC)也能有效用於對於有機污染物去除，但只限用於有快混、混凝、

沉澱、過濾的傳統處理系統。PAC特別適用於瞬時增加的有機污染物，因PAC能隨時加入，但若以高劑量處理有機污染物，則廢棄PAC管理會是一大問題。

表 17 控制有機污染物之有潛力之程序

技術	評論
粒狀活性碳 填充曝氣塔	高效率，有廢棄之問題 對揮發性化合物有高效率， 但有氣體逸出之問題
粉末活性碳	須用於傳統處理程序
攪散曝氣	不同去除效率
多盤曝氣	不同去除效率
氯化	會生成副產品
逆滲透膜	不同去除效率，較昂貴

表 18 有機污染物最佳處理技術

粒狀活性碳 (GAC)	
Alachlor	Heptachlor
Aldicarb	Heptachlor epoxide
Aldicarb sulfone	Lindane
Aldicarb sulfoxide	Methoxychlor
Atrazine	PCBs
Carbofuran	Pentachlorophenol
Chlordane	2,4,5-TP (silvex)
2,4-D	Toxaphene
填充塔曝氣 (PTA)	
氯乙烯	
GAC or PTA	
Benzene	Ethylene dibromide (EDB)
Carbon tetrachloride	Ethylbenzene
Dibromochloropropane (DBCP)	Monochlorobenzene
o-Dichlorobenzene	Styrene
p-Dichlorobenzene	Tetrachloroethylene
1,2-Dichloroethane	Toluene
1,1-Dichloroethylene	1,1,1-Trichloroethane
cis-1,2-Dichloroethylene	Trichloroethylene
trans-1,2-Dichloroethylene	Xylenes (total)
1,2-Dichloropropane	

在用以去除無機污染物的BATs中其效率和不同的處理技術和無機污染物本身有關，幸運的是並非所有的無機污染物會同時存於水中，最重要之變數來影響無機物去除和最佳技術選擇有下列幾點：污染物特性和價數、進流污染物濃度、進流pH值和溶解固體物濃度、希望之出流濃度。(表19)列出法定無機污染物之BAT。

表 19 無機物最佳有效處理

污染物	BAT
砷	混凝-過濾 直接和矽藻土過濾 腐蝕控制
鎂	離子交換 石灰軟化 逆滲透膜 電析法
鈣	離子交換 逆滲透膜 混凝-過濾
鉻	離子交換 石灰軟化(用於三價鉻) 逆滲透膜
水銀	粒狀活性碳 混凝-過濾* 石灰軟化 逆滲透膜
硝酸	離子交換 逆滲透膜 電析法
硝酸鹽	離子交換 逆滲透膜
硒	活性氧化鋁 石灰軟化 混凝-過濾(僅用於四價硒) 逆滲透膜 電析法

*水銀入流少於 10ug/l