

萊茵河水質污染之改善

—— 國際河川水質污染改善之實例 ——

郭錦洛*

一、流域概況

萊茵河 (Rhine, 德語用 Rhein) 為歐洲第三大河川，發源於瑞士 Gotthard Group 之 Toma 湖附近，發源地之標高為 2,930m，流向西北，於荷蘭之鹿特丹附近注入北海，全長 1,320 公里，流域面積約 185,000 平方公里，流域範圍包括瑞士、意大利、奧地利、列支敦士登、德意志聯邦共和國（簡稱西德）、法國、德意志民主共和國（簡稱東德）、比利時、盧森堡、及荷蘭等十個國家之部份領土，但以瑞士、西德、法國及荷蘭為主（圖一）。

由於夏季時阿爾卑斯山積雪之溶化及冬季時上游雨水之注入，萊茵河豐枯流量之變化不大，萊茵河之最低流量從未小於 800CMS，最高流量甚少超過 8,000CMS，其年平均流量約 2,200CMS。因此該河川即使在枯水期，亦有充分之水量，供應飲用水及工業用水等用途。

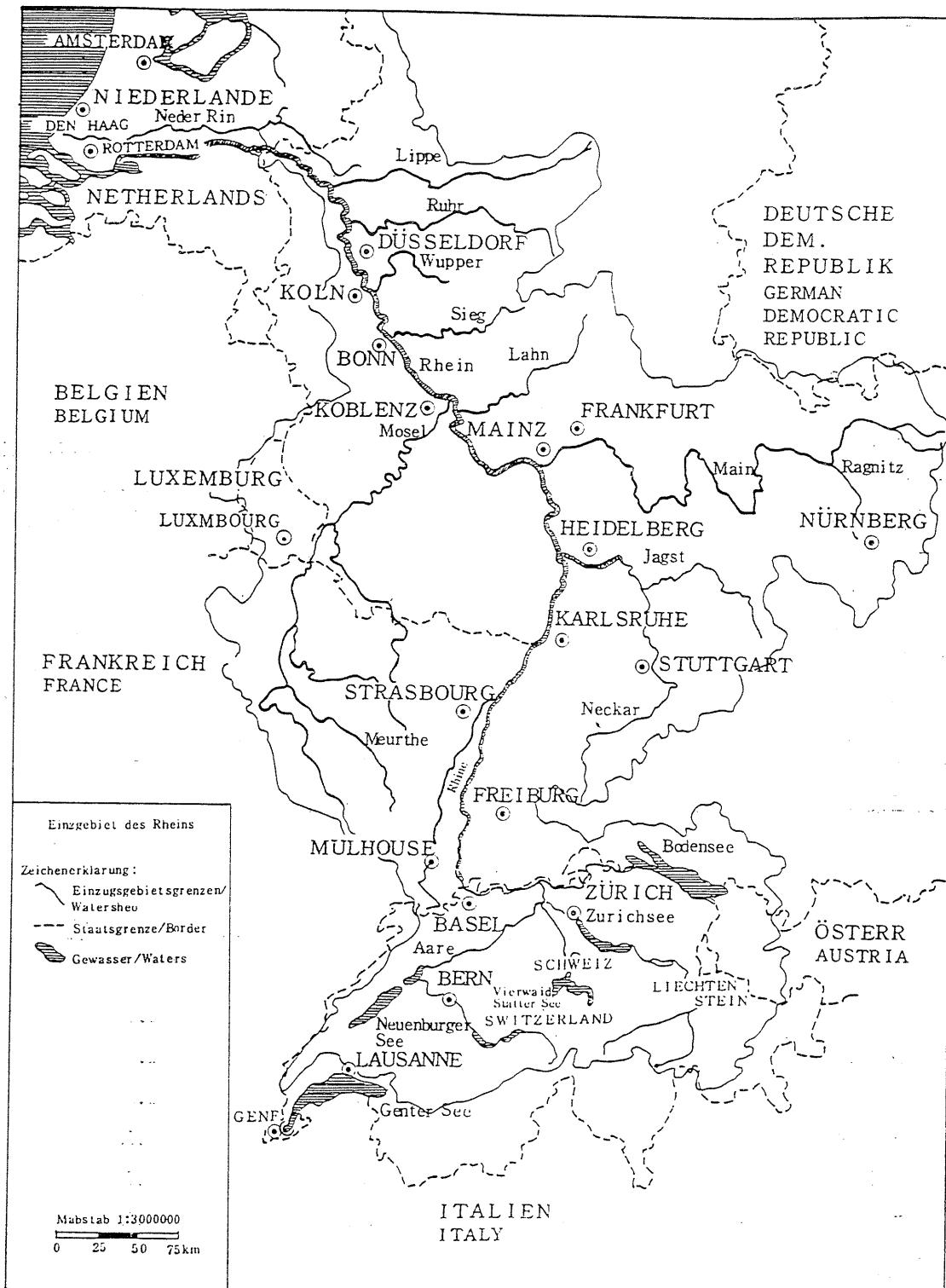
流域內之人口約 5 千萬人，其平均人口密度約每平方公里 270 人，在魯爾區——萊茵河流域之主要工業區，其平均人口密度高達每平方公里 875 人。表一為萊茵河與其他河川在人口及工業負荷等項目之比較，顯示萊茵河之人口密度，及單位流量之社會產量均遠較密西西

表一 各河川之負荷

河 川	人 口 密 度 人／平方公里	單位流量人口數 人/CMS	單位流量之總社會產量 美金/CMS
萊 茵 河	270	22,700	3.4
多 瑙 河	83	10,400	1.1
俄 亥 俄 河	76	5,800	1.3
田 納 西 河	54	3,000	0.70
密 西 西 北 河	19	3,300	0.75
倫 河 (Rhône)	63	3,700	0.55

註：各河川之流量均以河口流量為代表。

* 臺灣省環境保護局第六課課長



圖一 萊茵河流域

比河等河川為高。

萊茵河為西歐之主要動脈，位於其河口之鹿特丹，已成為世界最大之海港（以貨物運輸量而言），而魯爾區之 Duisburg 則為世界最大之內陸港口，1977 年平均每四分鐘有一艘船經過德——荷邊界之萊茵河，其年總運輸量約為 127 百萬噸。

萊茵河交通運輸與水量之管理，已有久遠之歷史，且在技術上及行政上均已達甚高之水準。然而對於水質之管理則略為遜色，且有許多問題存在。由於人口及工業之高度集中，流域內所產生之大量廢污均以萊茵河為其棄置場所，導致河川水質之嚴重惡化，1978 年經由萊茵河流入荷蘭之廢污估計約 30 百萬噸，約佔萊茵河船舶運輸量之 $\frac{1}{4}$ 。

二、沿岸國家之利益

為正確了解一條像萊茵河之國際河川，在水質管理上所產生之問題，首先應了解一些沿岸國家對於河川之利益。就以引用萊茵河河水為工業製造及冷卻水而言，如表二所示，西德佔最優勢。值得注意者為冷卻用水之增加率，遠較製造用水為大，特別是法國。對於製造用水之增加除取自萊茵河外，主要取自水質較佳之地下水，由於循環用水之推廣，有助於用水成本之降低。

表二、引用萊茵河河水作為工業製造用水及冷卻水

沿 岸 國 家	工業製造用水 $10^6 \text{m}^3/\text{年}$		冷 却 用 水 $10^6 \text{m}^3/\text{年}$	
	1973	1980	1973	1980
瑞 士	6.4	121.5	68	284
法 國	2.8	4.0	274	3,233
德 國	869.9	969.9	6,133	11,322
荷 蘭	160.0	195.0	1,228	2,526
合 計	1,039.1	1,290.4	7,703	17,365

就飲用水而言，西德與荷蘭對於萊茵河之依賴，大致相同，法國之自來水廠則均未引用萊茵河河水，因其取用大量水質較佳之地下水（表三）。關於引用萊茵河河水作為農業用途及保持運輸渠道之水位，則以荷蘭為最（表三）。由於荷蘭之國土部份低於海平面，對於河川水量及其變動極為敏感。

荷蘭對於萊茵河之水質最為關心，此乃因該國之農業用水、園藝用水及飲用水大部份引自萊茵河，且荷蘭極大部份之國土位於萊茵河流域內。此外，沿岸各國對於自然保育、遊憩及垂釣所需之水質亦頗為關心。

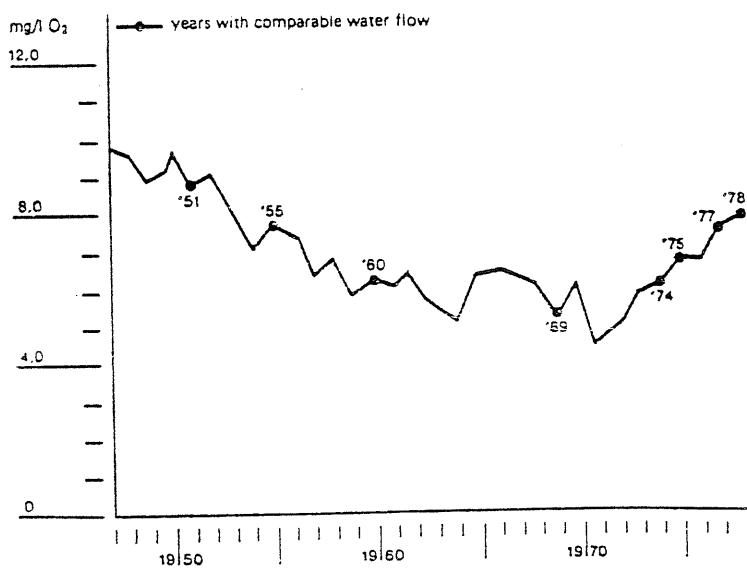
表三、引用萊茵河河水作為飲用水及農業用水

沿 岸 國 家	飲 用 水 $10^6 \text{m}^3/\text{年}$		農 業 用 水 $10^6 \text{m}^3/\text{年}$	
	1973	1980	1973	1980
瑞 士	76	126	1.6	1.6
法 國	0	0	965	970
德 國	243	363	2.5	18
荷 蘭	300	305	2,816	3,637
合 計	619	794	3,785.1	4,626.6

註：荷蘭之農業用水包括運輸渠道及水門等用水。

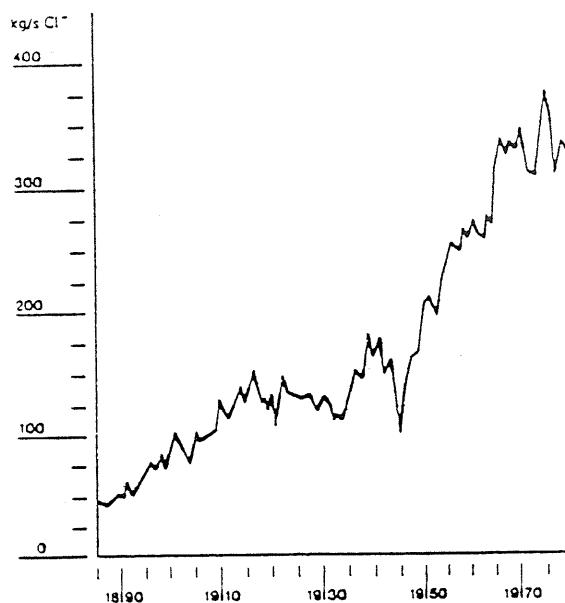
三、萊茵河水質之問題

萊茵河水質之變劣，已有甚久之歷史，1971年夏季為其水質最劣之一年，此時萊茵河中游有100 餘公里之河段，完全無溶氧量。圖二顯示德——荷邊界處1946至1978年間溶氧量年平均值之變遷情形，圖中之圓點表示該年之平均流量與1978年者相同，由圖二之圓點可見自1946至1971年，溶氧量逐漸下降。由於廢水處理廠之大量興建，及1973年能源危機造成之經濟衰退，使排入河川之可分解有機物相對減少，以致1971年以後萊茵河之溶氧量逐漸上升。

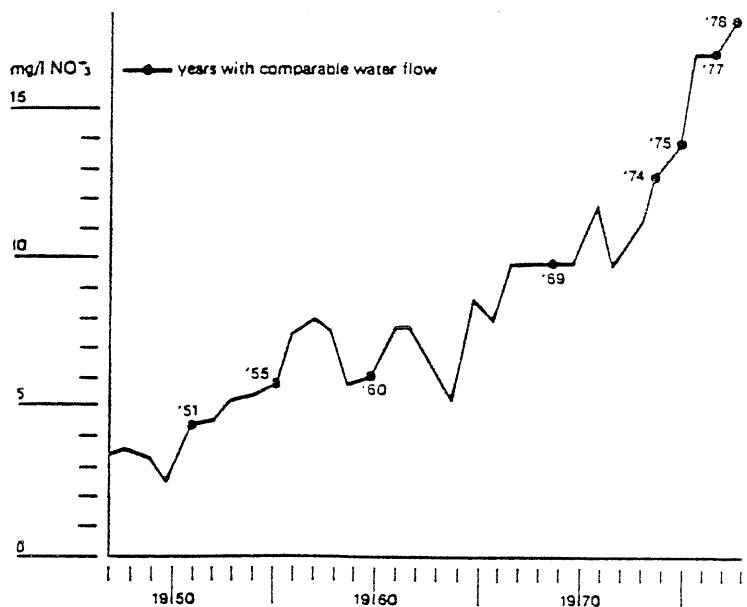


圖二、萊茵河在德荷邊界之溶氧量 (1946至1978)

關於無機物之污染，萊茵河之氯鹽含量扮演重要之角色，其天然的氯鹽含量約 10mg/l ，據1880年之測定結果仍是 20mg/l ，從此以後，河川水中之氯鹽負荷與西歐之工業發展平行地上升（圖三）。1978年德——荷邊界之平均氯鹽含量達 159mg/l ，最大值為 320mg/l ，相當於19百萬噸之氯化鈉年負荷量。自1974年以後，萊茵河之氯鹽負荷已大致穩定。



圖三、萊茵河之氯鹽負荷



圖四、萊茵河在德荷邊界之硝酸鹽濃度

表四、萊茵河水質檢驗結果（1978年、與IAWR限值之比較）

水質項目	單位	萊茵河水質		IAWR限值	
		平均值	最大值	A	B
<u>一般項目</u>					
溶氧飽和度	%	75		80	60
電導度	ms/m 20°C	86	134	70	100
色度	mg/l, Pt-Co	22	30	5	35
臭度	初嗅數	27	87	10	100
懸浮固體	mg/l	16	36	5	25
<u>無機物質</u>					
總量	mg/l	645	965	500	800
氯鹽	mg/l	159	320	100	200
硫酸鹽	mg/l	75	119	100	150
硝酸鹽	mg/l	18	23	25	25
銨 NH ₄	mg/l	0.86	3.1	0.2	1.5
鐵	mg/l	1.1	2.6	1.0	5.0
氯 鹽	mg/l	0.25	0.39	1.0	1.0
砷	mg/l	0.007	0.02	0.01	0.05
鉛	mg/l	0.017	0.051	0.03	0.05
鎘	mg/l	0.023	0.047	0.03	0.05
銻	mg/l	0.0015	0.0038	0.005	0.01
銅	mg/l	0.012	0.030	0.03	0.05
鋅	mg/l	0.100	0.240	0.5	1.0
汞	μg/l	0.3	0.9	0.5	1.0
<u>有機物質</u>					
有機碳	mg/l	5.0	7.0	4	8
化學需氧量	mg/l	13	20	10	20
碳氧化合物	mg/l	0.14	0.62	0.05	0.2
MBAS	mg/l	0.12	0.26	0.1	0.3
酚類	mg/l	0.006	0.019	0.005	0.01
有機氯農藥(總量)	μg/l	0.06	0.11	5	10
有機氯農藥(個別)	μg/l	0.04	0.07	3	5
有機磷農藥(總量) (相當於巴拉松量)	μg/l	0.9	1.8	30	50

說明：1. 萊茵河取樣地點：德一荷邊界。

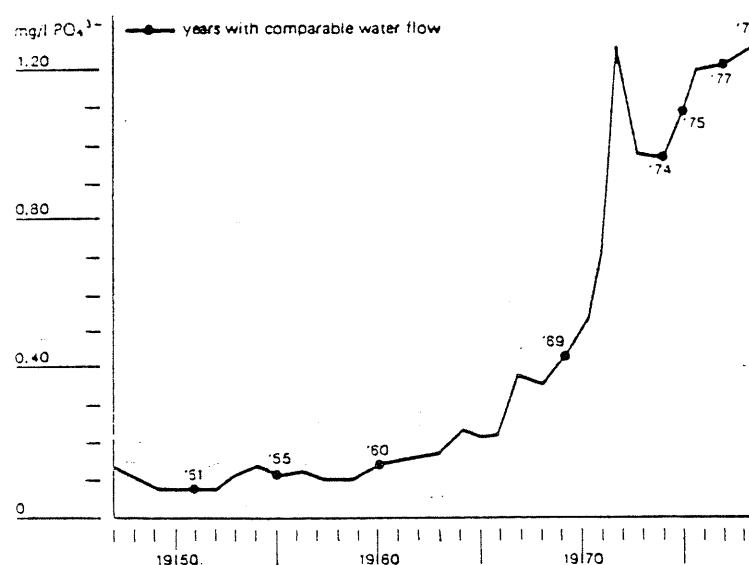
2.A：指一般通用之淨水處理，B：指需經特殊或高級之淨水處理。

3.IAWR=萊茵河流域自來水事業國際協會。

萊茵河之污染物種類與數量，在過去數年內劇增，尤其是化學物質(部份具有毒性在)河川水中之出現率亦增加。表四為1978年萊茵河水質之狀況，及萊茵河流域自來水事業國際協會(International Consortium of Water Supply Undertakings in the Rhine Catchment Area，簡稱 IAWR*)之建議限值，由表四可見大部份之水質均超過上述限值，顯示萊茵河水質之完全改善，仍相當遙遠。

萊茵河之汞含量則有顯著之改善，1973年之平均汞含量為 $1.1\mu\text{g}/\ell$ ，1978年則降至 $0.3\mu\text{g}/\ell$ ，此外，硝酸鹽與磷酸鹽之濃度顯著增加，可由圖四與圖五中看出，該情況很難期望在以後數年內改善。

萊茵河之長期污染可由其底泥成份反映出來，表五提供1788及1975年底泥中重金屬之濃度。



圖五、萊茵河在德荷邊界之磷酸鹽濃度

表五、地殼與萊茵河底泥中重金屬含量 (mg/kg)

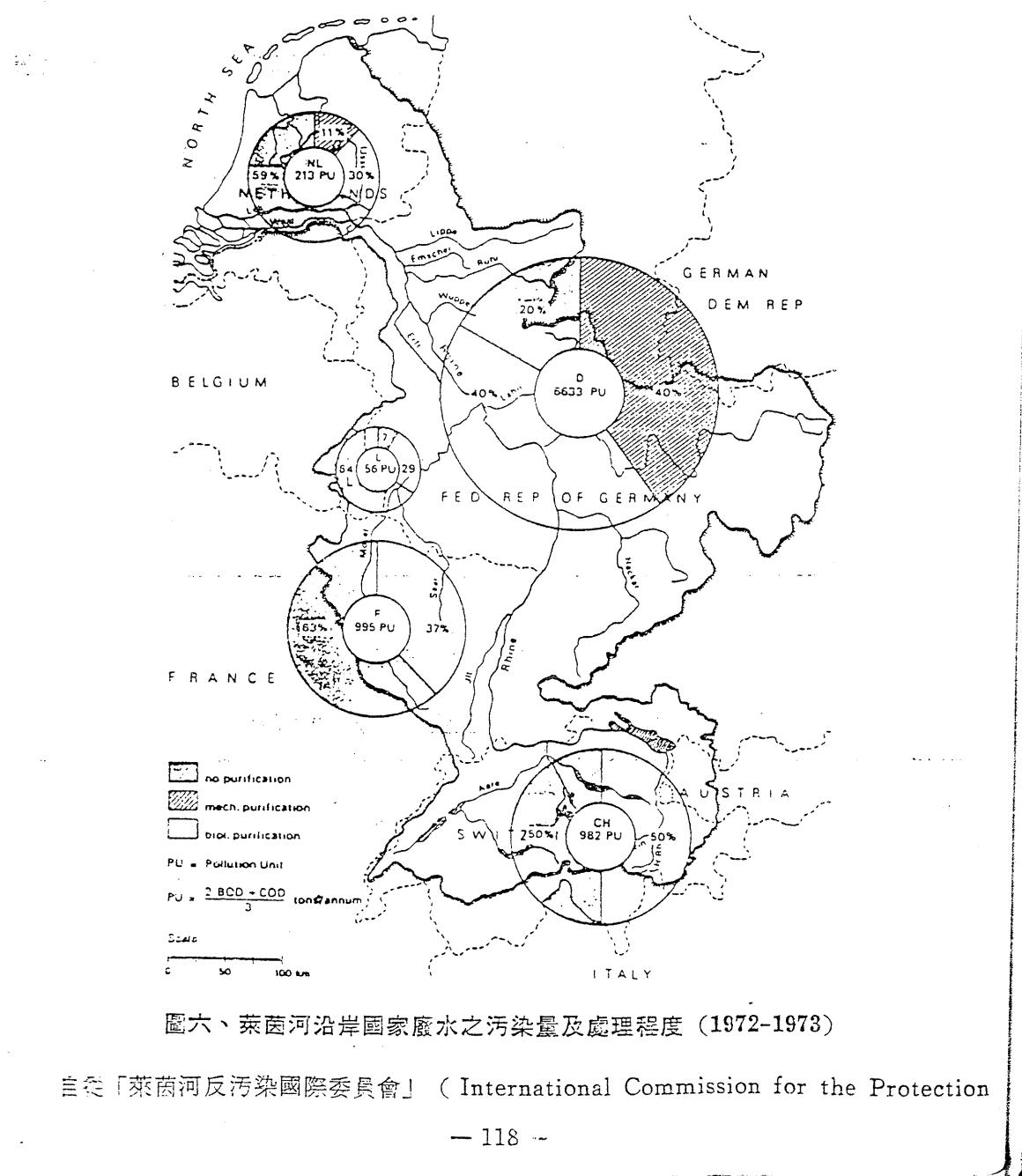
重金屬	地殼含量 (平均)	萊茵河底泥含量		重金屬	地殼含量 (平均)	萊茵河底泥含量	
		1788	1975			1788	1975
銅	70	25	325	鉛	16	30	400
鋅	130	100	1,900	鎘	0.2	0.3	30
鉻	200	90	820	汞	0.5	0.2	10
鎳	80	40	80	砷	5	13	54

*萊茵河流域大約有80個自來水廠屬於IAWR之會員，供應大約20百萬人及無數工業之自來水。

四、萊茵河之水質管理

萊茵河之污染原因與其他河川無甚不同，即由於工業化之加速，人口之成長，及廢水處理之進度落後等，污染問題由生物可分解物質變成為微量毒性污染物。

圖六提供萊茵河沿岸國家廢水之污染量及處理程度，由該圖可看出最大之污染量來自西德，因此該國積極致力於廢水之處理與改善。



圖六、萊茵河沿岸國家廢水之污染量及處理程度 (1972-1973)

自「萊茵河反污染國際委員會」 (International Commission for the Protection

of the Rhine against Pollution) 於 1963 年成立後，污染問題之討論提升至國際層次，於焉開始。該委員會建議其會員國——瑞士、法國、西德、盧森堡、荷蘭在國際協定之下，採取萊茵河反污染之策略。進入七十年代後，該委員會只從事於尋求法國 Alsace 鉀礦排放氯鹽（為萊茵河氯鹽污染之主要來源）之解決方案，此外，則辦理萊茵河水質之偵測。由於政治因素，鉀礦廢鹽排放之間題，至今仍未解決。

萊茵河化學污染國際條約 (The International Treaty on the Chemical Pollution of the River Rhine) 於 1976 年簽署，並於 1979 年 2 月正式運作，該條約將污染化學物質分成二類，第一類屬於危險或毒性物質，如表六，該類物質應停止排放。

表六、第一類名單：毒性物質

1.有機鹵素類化合物及物質	5.汞及汞化合物
2.有機磷類化合物	6.镉及鎘化合物
3.有機錫化合物	7.持久性之礦物油類及石油基碳氫化合物
4.已證實可產生致癌反應之物質	

第二類屬於有害物質 (noxious substances)，如表七，該類物質之排放應予減少。

表七、第二類名單：有害物質

1.下列金屬及其化合物：	(1)鋅	(2)銅	(3)鎳	(4)鉻	(5)鉛	(6)硒	(7)砷
	(8)鎘	(9)鉬	(10)鈸	(11)錫	(12)銀	(13)鉻	(14)硼
	(15)鈾	(16)釤	(17)鈷	(18)鉻	(19)碲	(20)銀	
2.第一類名單以外之殺蟲劑及其衍生物。							
3.能影響可食性水產物產生臭與味之物質。							
4.有毒之有機矽類化合物。							
5.有機磷化合物與元素態磷。							
6.由原油產生之非持久性礦物油及碳氫化合物。							
7.氯鹽、氟鹽。							
8.對溶氧之平衡產生不良影響之物質，尤其是氮、硝酸鹽。							

歐市 (EEC) 已制定 1,500 種有毒化學物質之名單，而萊茵河國際委員會已同意將 15 種化學物質列入第一類名單內，如表八。此外，為維護地面水之水質，歐市已制定各種水質標準之指令，以供其會員國制定其水質目標與排放標準之依據與參考。目前已公布之標準計有 (1) 供飲用水源之地面水水質標準，(2) 游泳用水之地面水水質標準，(3) 維持魚類生存之水質標準 (表九)。

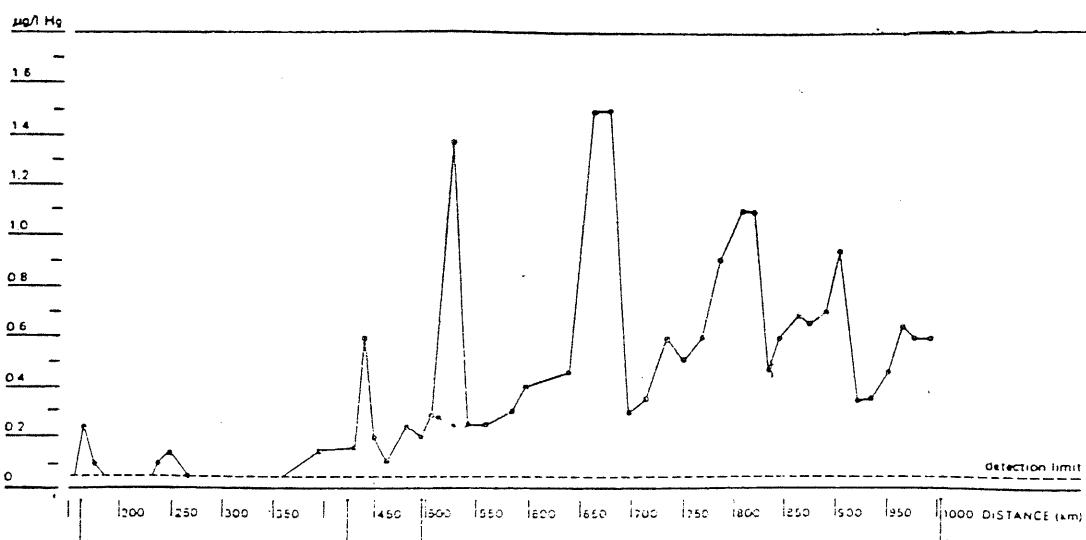
表八、列入第一類名單之化學物質

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1.汞及所有汞化合物 | 9.六氯苯 |
| 2.鎘及所有鎘化合物 | 10.六氯環己烷 |
| 3.地特靈 (Dieldrin) | 11.多氯聯苯 |
| 4.安特靈 (Endrin) | 12.滴滴涕 (DDT) |
| 5.阿特靈 (Aldrin) | 13.五氯酚 |
| 6.克氯丹 (Chlordane) | 14.六氯丁二烯 |
| 7.飛佈達 (Heptachlor) | 15.安殺番 (Endosulfan) |
| 8.飛佈達衍生物 | |

五、水質改善之成果

萊茵河係一條國際河川，沿岸各國之利益與政治因素，影響其水質改善之策略與成果。目前萊茵河之部份水質項目已獲致不同程度之改善，較顯著者為溶氧量與汞含量之改善。

萊茵河之溶氧量自1971年以後逐漸上升（圖二）顯示對於沿岸有機廢水排放之管制已獲成效，依據萊茵河國際委員會1973年及1978年之調查結果（圖七及表四），顯示萊茵河之汞含量已逐漸下降，對汞排放管制之成效，已獲肯定。目前尚未解決者為鉀礦廢鹽之排放導致萊茵河之氯鹽含量增高之間題，此由於法國未能同意採取有效之改善措施。



圖七 萊河之汞含量 (1973年)

表九、歐市地面水水質標準與IAWR限值之比較

項 目	單 位	飲用地水面水質標準						供游泳之地面水質標準			供魚類之地面水質標準			IAWP 限 值	
		A-1			A-2			A-3			B			A	B
		G	I	G	I	G	I	G	I	G	I	G	I		
<u>一般項目</u>															
水溫	°C	25	22	25	22	25	22	25	22	25	21.5(S) 28.0(C) 6.0-9.0	21.5(S) 28.0(C) 6.0-9.0	21.5(S) 28.0(C) 6.0-9.0	10	100
pH		6.5-8.5	6.5-8.5	5.5-9.0	5.5-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	6.0-9.0	5.5	5.5	5.5	35	
臭度	初強數 mg/ℓ, Pt-Co	3	3	10	10	20	20	50	50	50	天然水色	天然水色	天然水色	10	100
色度	mg/ℓ	20	10	100	50	200	50	10	10	10	20	20	20	5	35
懸浮固體	%	25	>70	>50	>30	>30	>30	50,000	50,000	50,000	80-120	>50	>50	>80	>60
溶氧飽和度	個/100mℓ	50	50	5,000	5,000	50,000	50,000	500	500	500					
總大腸菌群 糞便性大腸菌類	個/100ml	20	20	2,000	2,000	20,000	20,000								
<u>無機物質</u>															
氯濃度	mS/m, 20°C	100	100	100	100	100	100	100	100	100	70	70	70	100	
氯 鹽	mg/ℓ Cl	200	200	200	200	200	200	200	200	200	100	100	100	200	
硫酸鹽	mg/ℓ SO ₄	250	150	250	150	250	150	250	150	250	100	100	100	150	
銻	mg/ℓ, NH ₄	0.05	1.5	1.0	4.0	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0	0.2	0.2	0.2	1.5	
硝酸鹽	mg/ℓ, NO ₃	50	25	50	50	50	50	50	50	50	25	25	25	25	
總磷酸鹽	mg/ℓ, PO ₄ -P	0.17	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31					
氟 鹽	mg/ℓ, F	1.5	0.7-1.0	0.7-1.7	0.7-1.7	0.7-1.7	0.7-1.7	0.7-1.7	0.7-1.7	0.7-1.7					
銅	mg/ℓ, Cu	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	
鎳	mg/ℓ, Ni														
鋅	mg/ℓ, Zn	3.0	0.5	5.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	5.0	0.5	0.5	0.5	1.0	
鉛	mg/ℓ, Pb	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05	
鈷	mg/ℓ, Cd	0.005	0.001	0.005	0.001	0.005	0.001	0.005	0.001	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	

表九、歐市地面水水質標準與IAWR限值之比較（續）

項 目	單 位	飲用 地面水 源水 質標準						供游泳之地面 水水質標準			供魚類之地面 水水質標準			IAWP 限 值		
		A-1			A-2			A-3			I			G		
			G	I		G	I		G	I		G	I		G	I
鉻 汞 砷 錫 矽 鐵 銅 鋅 硼	mg/ℓ, Cr mg/ℓ, Hg mg/ℓ, As mg/ℓ, Mn mg/ℓ, Se mg/ℓ, CN mg/ℓ, Ba mg/ℓ, B	0.05 0.001 0.05 0.05 0.01 0.05 0.1 1.0	0.0005 0.001 0.05 0.05 0.01 0.05 1.0 1.0	0.05 0.0005 0.05 0.1 0.01 0.05 1.0 1.0	0.0005 0.001 0.1 1.0	0.05 0.0005 0.05 0.05 0.01 0.05 1.0 1.0	0.0005 0.001 0.05 1.0	0.05 0.0005 0.05 0.05 0.01 0.05 1.0 1.0	0.03 0.0005 0.01 0.05 0.01 0.01 1.0 1.0	0.05 0.0005 0.05 0.05 0.01 0.01 1.0 1.0						
有機物質	BOD, COD MBAS 油 脂 類 多 異 芳 香 族 碳 氫 化合物 有 機 氯 類 塑 膠															
	mg/ℓ, O ₂ mg/ℓ, O ₂ mg/ℓ mg/ℓ μg/ℓ μg/ℓ μg/ℓ	<3.0 mg/ℓ 0.2 0.05 1.0 0.2 1.0		<5.0 0.2 0.5 0.2 1.0 0.2 1.0		<7.0 30 0.5 0.5 1.0 100 1.0 100 1.0										

說明：1. A-1 簡易處理， A-2：一般處理， A-3：特殊處理， G=Guide=引導， I=Imperative=命令

2. A：一般處理， B：特殊處理

3. S = Salmon = 鮭魚， C = Carp = 鯉魚。

六、後記

臺灣地區之河川雖然與萊茵河迥異，但是萊茵河流域之水質管理與毒性物質管制策略，仍有值得吾人借鏡之處。本文係筆者依據民國七十一年考察歐洲水污染防治期間所蒐集之資料撰寫而成，雖非最新資料，相信仍可提供關心環境保護人士之參考。

參 考 文 獻

- 1.Cornelius van der Veen, Jurrie Huijzenge, "Combating River Pollution, Taking the Rhine as an Example." Prog. Water Tech. Vol. 12, pp. 1035-1039, IAWPR/Pergamon Press Ltd. 1980.
- 2.Herbert Massing, "The River Rhine, Trans-National River Basin Management." State Agency for Water and Waste, North Rhine Westphalia, FR., Germany. 1981.
- 3.郭錦洛，「歐市之環境政策與環境保護」，工業污染防治，第五卷，第二期，民國七十五年四月。