

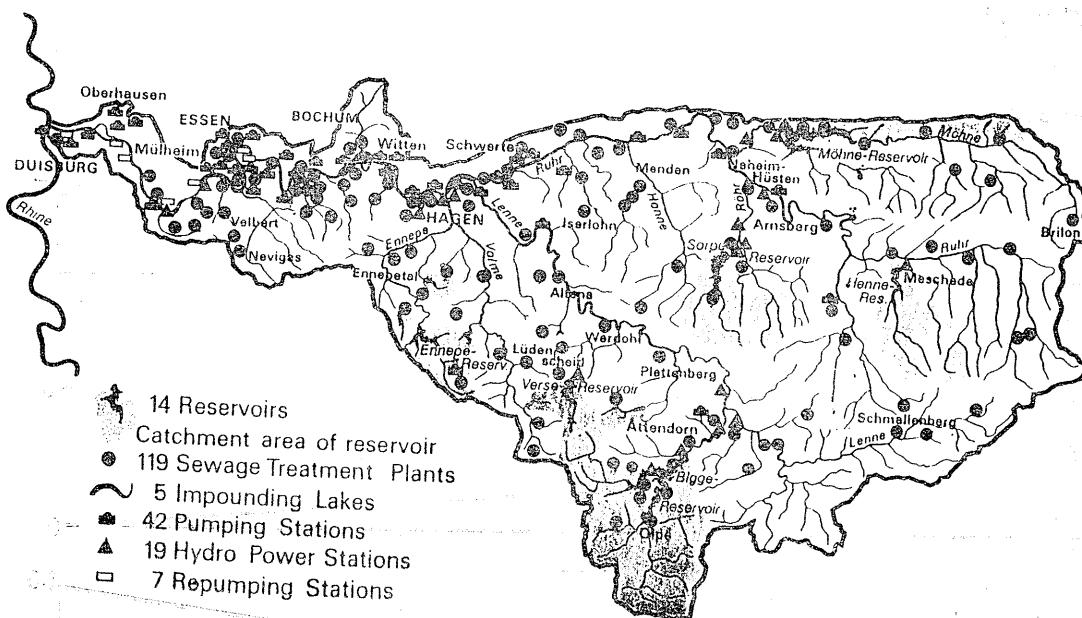
德國魯爾河流域水質管理

一流域性水污染防治措施與放流費制度成功之實例

郭錦洛*

一、流域概況

魯爾河 (Ruhr) 位於德國中部北萊茵西法利亞 (North Rhine-Westphalia) 邦境內，為萊茵河下游之主要支流，其長度為217公里，流域面積為4,488平方公里，其流域範圍如圖一所示。流域內之平均年雨量為 $1,030\text{mm}$ ，河口處之年逕流量為 $2,460 \times 10^6\text{m}^3$ ，平均年流量為80CMS。



圖一 德國魯爾河流域

魯爾河流域為舉世聞名之魯爾工業區之所在地，1980年之總人口約 2.18×10^6 人，該區域煤及鋼鐵之年產量分別為 72×10^6 公噸及 18×10^6 公噸，此外，其他工業亦為數不少，結果流域內之用水量及廢水量高出西德全國平均用水量與廢水量之七倍。

* 臺灣省環境保護局研究員

二、水管理協會

魯爾河管理協會 (Ruhr River Association) 及魯爾水庫管理協會 (Ruhr Reservoirs Association) 均係依據1913年之特別法成立者，屬公共自治團體，並受北萊茵西法利亞邦政府之糧食、農業暨森林部之監督，前者負責魯爾河及其支流水質之管理，後者負責水量之管理，及自來水與工業用水之供應。該協會之決策部門為大會 (Assembly) 及理事會 (Board of Directors)，理事會之理事由大會選出，其人選為社區、工業界等團體之代表，理事會設執行理事及理事主席。其業務部門分設水污染防治組、行政暨法制組、財務管理組、壩工組、水質檢驗室及資料室等六單位，茲將該二協會之有關統計資料列如表一。

表一 魯爾河及魯爾水庫管理協會統計資料

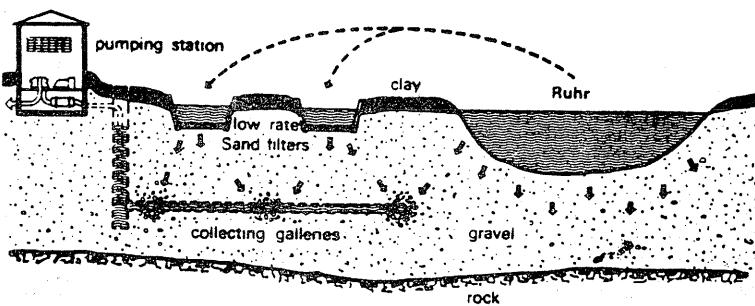
1. 魯爾河		
流域面積	4,488Km ²	
長 度	217Km	
平均坡降	3‰	
平均流量	80CMS	
平均引水量	13CMS	
年逕流量	$2,460 \times 10^6 \text{ m}^3$	
2. 人 口		
流域內總人口	2.18×10^6	
享用污水系統人口	1.93×10^6	
享用自來水人口 (包括越區供水)	5.10×10^6	
3. 魯爾河管理協會		
119 污水處理廠，處理能力	$333 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$	
5 人工湖，蓄水容量	$19.6 \times 10^6 \text{ m}^3$	
42 抽水站，抽水能力	19.1CMS	
5 水力發電廠，發電量	$90 \times 10^6 \text{ kwh}/\text{年}$	
4. 魯爾水庫管理協會		
14 水庫、蓄水容量	$471 \times 10^6 \text{ m}^3$	
13 水力發電廠，發電量	$70 \times 10^6 \text{ kwh}/\text{年}$	
7 抽水站，抽水能力	10.0CMS	
5. 預算：單位 10^6 馬克		
	行 政 費 用	資 本 支 出
魯爾河管理協會	99.6	67.6
魯爾水庫管理協會	83.0	36.6

目前在北萊茵西法利亞邦除魯爾河及魯爾水庫管理協會外，另設有九個類似之水管理協會，以負責流域內水資源之管理與水污染之防治，可不受行政區域之限制，以設計、興建及操作必需之污水廠或給水廠。因此流域性水資源與水質之管理扮演調和與降低營運成本之角色。

三、公共給水與地下水補注

魯爾河流域公共給水之主要水源有三：即魯爾河，年供水量 $600 \times 10^6 \text{m}^3$ ，萊茵河，年供水量 $100 \times 10^6 \text{m}^3$ ，地下水，年抽水量 $120 \times 10^6 \text{m}^3$ ，其中以魯爾河之供水量最大，此乃該河川之水質較佳，幾乎不含鐵與錳，且硬度低，此外，其高程度適當，連絡管線較短。

魯爾河河床下約有6m厚之礫石層，底下為岩石層，其兩岸有1m至2m之粘土層覆蓋，以防止污染。1900年以前，河川之自然滲透水量足夠供應公共給水之需，此後即開始興建地下水人工補注設施（圖二），以增加供水量。經適當處理之污水或廢水排入河川與河川水充分混合後，以抽水機抽送至慢濾池過濾，再注入地下含水層。其優點除可補注地下水外，並可進一步淨化水質，以作為自來水及工業用水之水源。為安全計，供水前須添加0.4mg/l之氯氣。



圖二 魯爾河流域地下水人工補注

四、水庫調節河川之低流量

魯爾河係一條相當小的河川，其平均流量約80CMS，最低流量約4CMS，每年大約引取 $600 \times 10^6 \text{m}^3$ 之水量供自來水水源，因蒸發及排至鄰近流域（越區供水）之水量約 $480 \times 10^6 \text{m}^3$ ，即相當於15CMS之流量，不再流入魯爾河內。

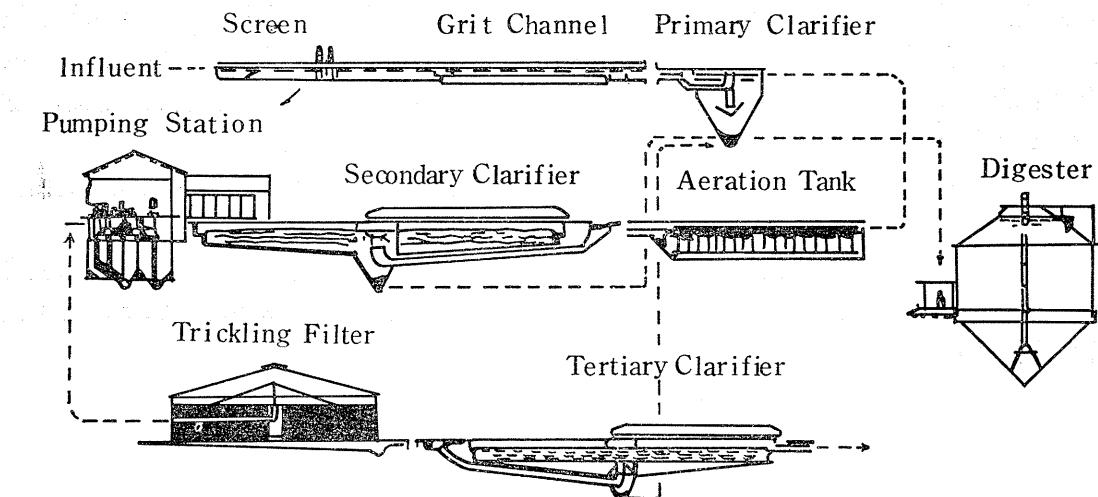
為補償河川流量之損失，魯爾水庫管理協會興建多處水庫，其總蓄水量為 $470 \times 10^6 \text{M}^3$ 。Bigge壩完成後，魯爾河河口之低流量可提高至10CMS，目前大約25%之流域受水庫之調節，冬季與春季期間，水庫蓄水，因未受水庫控制之區域，其逕流量足以供應需水量；夏季與秋季期間，水庫放水，以提高河川之低流量。

五、廢水處理

經過濾後注入地下之河川水，其 BOD 不得超過 5mg/l ，而且其溶氧量應大於 4mg/l ，魯爾河流域內之 BOD 負荷，合計 4×10^6 人口當量，設有一百餘處之污水處理廠，大約可去除 75% 之污染量（圖一）。

污水處理之任務可區分為社區及魯爾河管理協會，各個社區負責污水輸送系統之興建，而後者負責污水廠或抽水站及連絡幹管之興建。毒性工業廢水須經預先處理後，始可排入污水系統，以確保生物處理程序污水廠之正常操作。

一般而言，較小型污水廠採用滴濾池，中型或大型之污水廠則採用活性污泥法，有時採用二段式生物處理（圖三），以保護鄰近之水源。活性污泥法與滴濾法之混合程序，其優點為毒性金屬可藉添加化學品而沉澱，以確保滴濾池之有效操作。曝氣時間一般一小時，而滴濾池之 BOD 負荷不超過 $400\text{g/m}^3/\text{日}$ ，若滴濾池變成第一段，則 BOD 負荷可提高至 $800\text{g/m}^3/\text{日}$ ，過濾後不經沉澱即可流至活性污泥池，此時曝氣時間可限制至 1 小時。原廢水之 BOD_5 若為 $250 \sim 300\text{mg/l}$ ，二段生物處理可產生 $\text{BOD}_5 15\text{mg/l}$ 之放流水。



圖三 二段式生物處理污水廠流程

六、酸洗與電鍍廢水

魯爾河流域內大約有 1,000 家酸洗與電鍍工廠，其員工人數自數人至 1,000 人不等，為防止有毒物質在污水廠累積，酸洗與電鍍工廠廢水之放流標準建議如下：

pH	6.5~9.0
Fe	2mg/l
Cr	2mg/l
Cu	1mg/l
Ni	3mg/l

Zn	3mg/ℓ
Cd	3mg/ℓ
CN	0.1mg/ℓ
游離氯	0.5mg/ℓ

因此酸洗與電鍍工廠之廢水，應預先處理使其放流水符合上述之標準後，始可排放。

為防止污泥之累積，魯爾河管理協會設置硫酸再生工廠，在正常情況下，若硫酸之年消耗量大於 36 公噸，則硫酸之再生變為可行。累積之硫酸鐵及廢棄之鹽酸酸洗液則運至化工廠。

由於大多數之酸洗與電鍍工廠缺少空間以設置適當之污泥處理設施，因此魯爾河管理協會興建中央污泥脫水廠，以解決污泥處置之問題。污泥之掩埋場具有粘土層，以防止污水滲漏至地下，其滲漏水經收集後抽送至附近污水廠處理。

七、油污染防止措施

對於近代文明而言，水與油是不可缺少的，但是若二者混合後，將變成災害，依據理論計算，一公升的油可以糟蹋一百萬公升的水。由於在魯爾河流域每年大約發生 70 件之油污染事件，因此經組織緊急應變小組，即在周末或假日，都會有具經驗之工程師待命，以緊急處理油污染事件。

為去除水面之浮油，設置特別之卡車以裝載浮動隔板、攔油繩、撇油器、船隻及盛油桶，該卡車平時停放在魯爾河流域之中心區，俾機動前往發生油污染之河段，清除浮油。

雨後之公路排水，經檢驗其含油量可能高達 $59\text{mg}/\ell$ ，因此，鄰近水源之公路排水須先流經油水分離池（由公路主管機關設置），其表面積依最大水力負荷 $12\text{m}^3/\text{m}^3/\text{hr}$ 設計，其停留時間為 10 分鐘。

八、人工湖

為補助污水處理廠降低放流水之污染量及暴雨之溢流量，經完成五處人工湖之興建，其中以設在愛森 (Essen) 南邊 Baldeney 人工湖之規模最大，其停留時間約 60 小時，該人工湖具有相當於 100,000 人口當量污水廠之處理能力。

河水中之懸浮物將在人工湖沉積，只有在 15 倍平均流量之洪水量時，才能將湖中之沉積物沖刷乾淨，由於如此大之洪水量，十年不可能發生一次，因此 Baldeney 人工湖之沉積物已達其容量之十分之一，沉積物之浚渫費用雖高達一千萬馬克，但仍然需要。

九、河中曝氣

由於自淨作用，導致人工湖之溶氧量減少，且含有 $1.5\text{mg}/\ell$ 之磷酸鹽及 $15\text{mg}/\ell$ 之硝酸鹽，河川中之藻類可繁殖至 $100,000\text{cells}/\text{m}^3$ ，藻類大量繁殖之結果，河川之溶氧量將降至

2mg/ ℓ 以下。為補償河川水中之溶氧量，經裝置三座人工曝氣機，包括浮動機械曝氣機、壓縮空氣曝氣系統、及渦輪曝氣裝置各一座。在魯爾河下游，河中曝氣已證實為維持河川水之溶氧量在3~4mg/ ℓ 之成功方法。

十、成本與放流費

茲舉例說明成本分攤之觀念，若一家工廠將其廢水排至魯爾河管理協會操作之污水廠，則該廠須按其排放廢水之水量與污染量付費，污染量依據BOD之人口當量計算。此種作法是合理的，因污水廠係依據污水量及污水強度設計，若工廠將其廢水直接排至河川，其付費只依污染量計算，其污水量則不再列入考慮。

放流費 (effluent charges) 之收入，用於支付所增加之水污染防治措施費用，例如污水廠、人工湖，或河中曝氣等。依據水管理協會之長期經驗顯示放流費之徵收，為籌措污染防治費用之最佳途徑。

關於稀釋水及污水廠之相對成本，就魯爾系統而言，為維持河川水之溶氧量在4mg/ ℓ ，稀釋水之成本高於污水廠成本四倍，而河中曝氣之成本較提高污水廠之處理效率達90%以上更為經濟。就溶氧量而言，稀釋水、污水廠及河中曝氣之相對成本具有16:4:1之比例。

德國政府基於魯爾河流域實施放流費制度成功之經驗，於1976年訂定廢水處理稅法 (Waste Water Treatment Tax Law)，並自1981年起全國施行。該法之精神在貫徹污染者負擔費用原則，以誘導污染者利用可行之方法減輕其污染對於環境之影響。該法所訂之稅率，以1981年為例，每年每污染單位為12馬克，至1986年將調整至40馬克。污染單位係依據所排放污水量中之污染物含量計算，污染物之項目包括懸浮固體、化學需氧量及對魚類之毒性。廢水處理稅法之執行，可積極誘導污染者建造及操作廢水處理廠、改進廢水處理技術、開發與應用省水或不產生廢水之製造程序。

十一、結論

魯爾河流域之水質管理狀況已敍述如以上各節，值得注意者，其所採用者均為已知之要素，並無秘密之程序或複雜的三級處理步驟。成功的水污染防治係建立在成立負責流域水質管理之強有力管理機構，並使城鎮、社區及工業界參與。應有足夠且有效之污水廠，並以合理之待遇聘雇敬業苦幹之工程師及操作員，此時，應有良好之成本分攤制度。

十二、後記

德國魯爾河流域之水質管理已有數十年之經驗，且成果卓著，其成功之因素，主要採取流域性水污染防治措施及建立放流費制度等策略，以達成河川水質改善之目標。

本文係筆者依據民國七十一年考察德國水污染防治期間所蒐集之資料撰寫而成，希望對於我國河川水質整治計畫之推動有所助益。

參考文獻

1. Imhoff, K.R., Water quantity and quality management in the Ruhr Valley, JWPCF, Vol. 46, No. 7, 1974.
2. Tank and Organization of Ruhr River Association and Ruhr Reservoirs Association, 1981.
3. Report on Water Management in the Federal Republic of Germany, Published by the Federal Ministry of the Interior, 1977.