

行政院原子能委員會
委託研究計畫論文報告

我國自來水淨化產生污泥之天然放射性物質含量調查

To investigate the content of naturally occurring radioactive material
in sludge which was produced by the water treatment

計畫編號：912002FCMA005

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所

計畫主持人：王正忠

聯絡電話：03-4711400轉7614

E-mail address：jjwang@iner.gov.tw

報告日期：92年4月

壹、緣起與目的

世界各國一般利用溪流、湖泊、蓄水池及地表水作為民生用水的水源，這些水體可能含有天然放射性物質，包括鈾、鈾、鐳等主要核種。這些含有天然放射性核種的水體經過化學或物理等方式處理後，可能產生含放射性物質的廢棄物。

美國民生用水估計每年約有兩千六百億公噸處理後污泥含有濃縮的天然放射性物質，這些污泥包括有過濾殘渣、用過樹脂及活性碳等。一般污泥所造成之放射性曝露率與背景值相當，但用過樹脂及活性碳就可能高出背景值許多。

我國飲用水源自不例外，當亦含有天然放射性物質。行政院原子能委員會所屬之輻射偵測中心每年只定期針對飲用水體進行總阿伐及總貝他活度檢測，至於水處理後產生的污泥則無。因此，行政院原子能委員會放射性物料管理局為瞭解我國自來水淨化產生污泥是否會對民眾與環境造成輻射影響，特於民國九十一年五月，委託行政院原子能委員會核能研究所保健物理組，針對全國主要之自來水處理廠的污泥進行取樣分析，瞭解其自來水淨化方式、污泥中天然放射性物質的含量、污泥的處置方式及其對周遭環境是否造成輻射影響等。

貳、研究方法與過程

自然界中，原子序大於 82 的元素均具有放射性，這些所謂的天然放射性物質（Naturally Occurring Radioactive Materials, NORM）則分屬於以 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{235}U 為母核種的鈾、鈾、鈾三大放射性衰變系列。自然界中，NORM 除了上述的衰變系列之外，另有一種為非系列衰變核種，以 ^{40}K 為代表，其半衰期長達 $1.28 \times 10^9 \text{y}$ 。

NORM 在自然界中的含量極微，一般均很少有造成輻射管制的例子。NORM 一般考慮的核種主要包括衰變系列的母核種 ^{238}U 和

^{232}Th 及其衰變後生成的子核種 (^{234}U 、 ^{230}Th 、 ^{228}Th 、 ^{228}Ra 、 ^{226}Ra 等)，以及非衰變系列的 ^{40}K 。 ^{235}U 由於自然界含量較少，其影響一般可予以忽略不計。

然而，微量的 NORM 若經由人為的技術處理，使 NORM 的放射性部分有所改變，進而產生濃集，造成輻射劑量升高，而可能使人類的生活環境受到輻射安全影響。當 NORM 以此方式改變時，統稱為技術增強放射性物質 (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials, TENORM)。近代隨著工業的興起，使得 TENORM 產生於工業製程的廢棄物之中。各國政府對於 TENORM 問題開始漸漸予以重視，相繼訂定各項管制規定，以確保民眾的輻射安全。

一、執行方法及進行步驟

- (1) 調查我國自來水處理流程、過濾方式及污泥的產生與處理方式。
- (2) 由放射性物料管理局協助發文我國各主要自來水處理廠，配合進行污泥之取樣、污泥表面輻射劑量之度量及污泥處理相關資料之蒐集。
- (3) 由核能研究所保健物理組利用阿伐能譜與加馬能譜分析技術，進行污泥中釷系 (^{232}Th 、 ^{228}Ra (^{228}Ac)、 ^{228}Th)、錒系 (^{235}U) 及錒系 (^{238}U 、 ^{234}U 、 ^{230}Th 、 ^{226}Ra (^{214}Bi)) 等天然放射性核種含量分析。
- (4) 針對污泥中天然放射性核種含量的分析與表面輻射劑量的度量結果及污泥處置的方式進行評估研判，提供建議並撰寫研究報告。

二、自來水淨化流程與污泥產生

我國各地區（含外島）自來水淨水廠之自來水淨水處理方式均採用傳統的沈澱過濾法，其淨水處理流程如圖一所示。淨水程序大致可分成：1.原水(raw water)，2.分水井(distribution well)，3.快混池(rapid mixing basin)，4.膠羽池(flocculation basin)，5.快濾池(rapid filtration basin)，6.清水池(finished water pool)，7.污泥濃縮池(sludge thickener)，8.脫水設備(dewatering)等。

一般原水以自然重力或電動抽水機等動力方式取水，經減壓池調節水位高程，直接導入淨水廠分水井，再分流至淨水廠各個快混池，再依照流量注入混凝劑（聚氯化鋁PAC）及消毒劑（加氯 Cl_2 ）流至膠羽沈澱池之混合室中，經攪拌後產生膠羽作用（flocculation）而形成較大之膠羽顆粒阻隔沈澱於池底，以排泥閘控制排除，而較乾淨之上澄液經集水槽流至快濾池，經濾煤、濾砂、濾石等濾料由上而下順流過濾，乾淨之過濾水經匯流後再消毒送至清水池中。另外，沈澱池沈澱之污泥均流入污泥抽送井儲存，當液位上升至定值時以污泥抽水機抽送至污泥濃縮池做濃縮處理，以降低污泥之含水率便於乾燥。經濃縮污泥再加入高分子助凝劑以加速其凝聚，然後用污泥幫浦抽送至污泥乾燥床經日曬陰乾，或送至脫水機脫水後形成泥餅再招商運棄，或做為垃圾掩埋場之覆土。

三、自來水淨化污泥取樣

台灣地區（含澎湖、綠島和蘭嶼）自來水給水廠除了台北市政府所轄之台北自來水事業處五處淨水場之外，其餘分屬於台灣省自來水公司的十二個區的管理處管轄（如圖二所示）。而外島地區的金門和馬祖自來水給水廠則分屬於金門縣政府與連江縣政府所管轄。

經實地拜訪位於台中市的台灣省自來水公司水質處，得知台灣地區各自來水給水廠淨水污泥實際或設計最大月產量十公噸以上之淨

水場約有 26 座，其個別之污泥餅產量列於表一。除此之外，為求計畫調查之完整性與代表性，另加入本島部分縣市（例如南投縣）及外島地區（金門、馬祖、綠島與蘭嶼）之給水廠，共計全台 32 座與外島 7 座淨水場進行污泥之取樣與現場輻射劑量率度量。

本計畫取樣作業由核能研究所保健物理組會同放射性物料管理局第三組人員共同執行，並在台灣省自來水公司及所屬各區管理處給水廠、以及台北市自來水事業處、金門縣政府、連江縣政府等單位及所屬之給水廠配合協助下，於民國九十一年五月～八月期間順利完成。除現場採取污泥樣外，另以手提偵檢器（survey meter）測量污泥之表面輻射劑量率。

四、分析方法與步驟

(一)放射性活度分析

由各地自來水廠所取回的污泥樣有二種型態，一種是已由機器壓出水分所製成的泥餅，另外一種是未經處理直接取自沈澱池的泥水。以上二種污泥樣均裝於蒸發皿內，再置至於 110°C 烘箱中蒸乾 24 小時以上，以去除內含的水分。蒸乾後的污泥塊以研鉢和杵研磨成細粉狀，取出適量的泥粉裝入壓克力製的加馬計測容器內，以純鍺偵檢器（High Purity Ge Detector）分析加馬活度。另鈾及鈾放射性同位素核種的分析則是加入 ^{229}Th 與 ^{232}U 作為示蹤劑（tracer），經硝酸加熱萃取後，利用分別 Dowex 1x8（100~200 mesh）及 Chelate-100 樹脂進行鈾及鈾的分離與純化。純化後之鈾及鈾放射性同位素經濃硝酸及過氧酸處理後，電鍍於不銹鋼片上，靜置冷卻後，以阿伐能譜分析儀（ORTEC dual alpha spectrometer）計測活度。

(二)活度計測

經過前處理蒸乾後的污泥塊以研鉢和杵研磨成細粉狀，取出適量的泥粉裝入壓克力製的加馬計測容器內，以純鍍偵檢器（High Purity Ge Detector）分析加馬活度。另外，經過放射化學純化處理並電鍍於不銹鋼片上的鈷、鈾不銹鋼片，以阿伐能譜分析儀(ORTEC dual alpha spectrometer)計測活度。

參、主要發現與結論

本計畫共採取台灣省自來水公司十二個區自來水管理處、台北市自來水事業處、金門縣政府、連江縣政府等單位所屬之淨水廠共計全台 32 座與外島 7 座淨水場之污泥與現場輻射劑量率度量，其各淨水場污泥樣品型態、污泥處置方式及主要水源等資料請參考表二。我國自來水淨化均採用加藥（聚氯化鋁）沈澱方式處理，淨化過程中所形成的污泥均經過濃縮脫水或日曬陰乾的方式製成泥餅或泥塊，再依一般事業廢棄物的處理方式招商運棄，或做為垃圾掩埋場之覆土。

經實地查訪瞭解，部分規模較大的淨水場每月污泥的產量非常大，甚至超過千噸。由於公家機關對於招商運棄有一定的程序與管理辦法，因而經常堆積在淨水場內，造成淨水場的困擾。另外，各淨水場對於污泥的運棄均依照一般事業廢棄物之環保相關規定，進行污泥化學成份的檢驗，唯是否會造成 TENORM 的問題而影響環境輻射安全，則未有進一步之檢驗。

經實地赴全台及外島地區各淨水場採取之污泥樣品經前處理後，分別計測與分析其放射性物質的含量，分析結果列於表三。由分析的結果統計得知，我國各淨水場污泥的表面輻射劑量率介於 0.04~0.20 μ Sv/h，而鈾系與鈷系放射性物質含量 ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{234}U 、 ^{232}Th 、 ^{230}Th 、 ^{228}Th 、 ^{228}Ra 、 ^{226}Ra 活度分別為 1.8~23、0.012~0.16、1.8~24、0.09~1.1、0.09~1.2、0.09~1.1、9.3~102、8.1~66 Bq/kg。若

與報導中美國自來水淨化產生污泥放射性物質含量之平均值相比較，我國自來水淨化產生之污泥其放射性活度均遠小於美國。且依據我國”天然放射性廢棄物處置管理要點”第三條第一項之規定(參考附錄)：因廢棄物引起之空間輻射劑量率在每小時 0.5 微西弗 ($\mu\text{Sv/h}$) 以下(含)者，得免于管制。因此，我國各自來水淨水場淨化所產生的污泥，基本上均能符合豁免管制之要求，並不會對一般民眾及生活環境構成輻射安全之虞。針對本計畫之執行結果，有二點建議如下：

一、除了美國之外，本計畫尚未得知世界各國有針對自來水淨化所產生污泥進行全面性之放射性含量調查，雖然美國的調查顯示使用離子交換樹脂的淨化方式將會產生 TENORM 的問題，所幸我國各地區淨水場均未有採用離子交換的淨化方式來進行自來水淨化。但是各事業單位或研究單位自行設立的小型淨水場是否有採用離子交換的淨水方式則不得而知，若是，其廢棄之廢樹脂是否會造成 TENORM 的問題則值得重視。

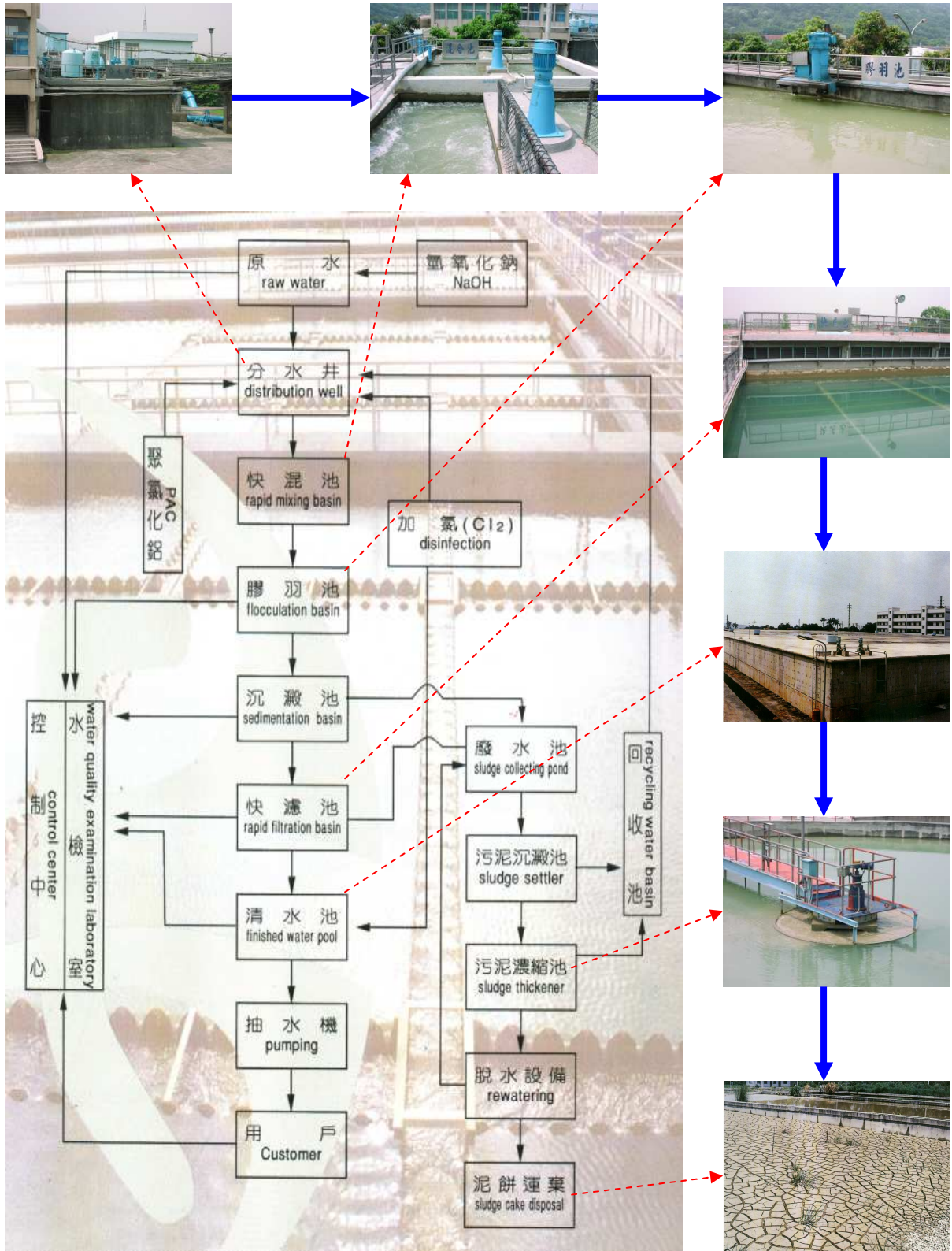
二、現有我國自來水淨水場所產生的污泥雖均能符合我國法規對於天然放射性廢棄物的豁免管制要求，但是對於污泥之棄置或再利用均未要求其進行放射性含量的檢測。依據我國”建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點”之規定，煤灰、爐渣及其他經原子能委員會指定公告之事業廢棄物，其使用於建築材料時應進行 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 與 ^{40}K 的比活度測定，且需符合特定的含量標準。自來水淨化產生之污泥若用於建築材料，是否該公告比照煤灰等事業廢棄物辦理，值得主管機關進一步研究。

肆、參考資料

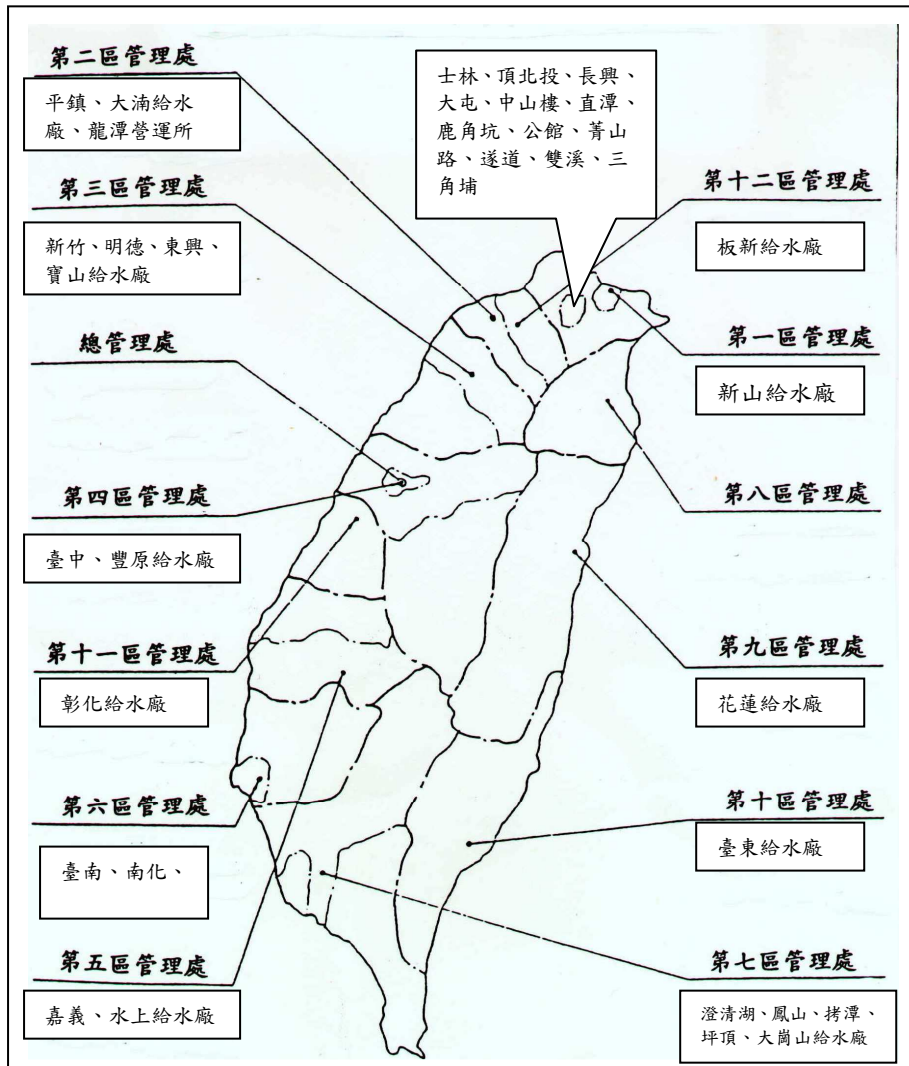
1. "Method of Consecutively Analyzing Plutonium and Americium", Japan Chemical Analysis Center, Chiba, Japan, Nov. 1990.
2. T. C. Chu, J. J. Wang and Y. M. Lin, Radiostromtium Analytical

- Method using Crown-ether Compound and Cerenkov Counting and Its Applications in Environmental Monitoring, *Applied Radiation and Isotopes*, **49**, 1671-1675 (1998).
3. "Method of Analyzing Uranium", Japan Chemical Analysis Center, Chiba, Japan, Jul. 1982.
 4. Anna Berne, Use of EIChroM TRU RESIN in the Determination of Americium, Plutonium and Uranium in Air Filter and Water Samples, **EML-575**, Environmental Measurements Laboratory, March 1995.
 5. "Americium in Water", EIChroM Industries, Inc. Analytical Procedures, March 1995.
 6. 日本アイソトープ手帳，アイソトープ協會編印，第 4 頁（1990）。
 - 7.“環境試樣鋳-90 處理作業程序書 EMRAL-EO-006”，核能研究所環境試樣放射性核種分析實驗室品質文件，89 年 7 月。
 - 8.“原子能法規彙編”，行政院原子能委員會編印，中華民國八十二年五月（二版）。
 - 9.趙旋爾，“天然放射性廢棄物之調查研究（3/3）”，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告（892001FCMA003），中華民國八十九年十二月。
 - 10.趙旋爾，“國內外天然放射性廢棄物管理現況之調查分析（1/1）”，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告（802001FCMA001），中華民國八十九年十二月。
 - 11.鄒建中，“美國飲用水處理產生 TENORM 污泥之實例”，放射性物料網路資訊，中華民國 89 年 3 月。（<http://www.normis.com/sectors.htm>）
 - 12.“台灣省自來水公司（簡介）”，台灣省自來水公司編製，台中市。
 - 13.“臺北的自來水（簡介）”，臺北自來水事業處發行，臺北市。中華民國 90 年 12 月。
 - 14.“台灣省自來水公司第三區管理處東興給水廠簡介”，東興給水廠

- 編製，苗栗縣頭份鎮，中華民國 87 年 9 月。
- 15.“台灣省自來水公司第四區管理處簡介”，台灣省自來水公司第四區管理處編製，台中市。
 - 16.“台灣省自來水公司第四區管理處豐原給水廠業務簡報”，豐原給水廠編製，台中縣豐原市，中華民國 90 年 4 月。
 - 17.“台灣省自來水公司第四區管理處鯉魚潭給水廠簡介”，鯉魚潭給水廠編製，台中縣后里鄉。
 - 18.“台灣省自來水公司第七區管理處澄清湖給水廠簡介”，澄清湖給水廠編製，高雄縣鳥松鄉。
 - 19.“台灣省自來水公司第七區管理處鳳山給水廠簡介”，鳳山給水廠編製，高雄縣林園鄉。
 - 20.“台灣省自來水公司第七區管理處拷潭給水廠拷潭淨水場簡介”，拷潭給水廠編製，高雄縣大寮鄉。
 - 21.“台灣省自來水公司第七區管理處牡丹給水廠簡介”，牡丹給水廠編製，屏東縣牡丹鄉。
 - 22.“台灣省自來水公司第十二區管理處板新給水廠簡介”，板新給水廠編製，台北縣三峽鎮。
 - 23.“連江縣自來水廠簡介”，連江縣政府編製，馬祖。



圖一、自來水淨水處理流程



資料來源：臺灣省自來水公司（86-87年水質檢驗統計）

圖二、台灣地區自來水廠分佈圖

表一、台灣地區各區淨水污泥最大月產量十公噸以上淨水場一覽表

給水廠名稱	淨水場名稱	污泥餅產量 (濕基 噸/月)
新山給水廠	新山淨水場	30
平鎮給水廠	平鎮淨水場	920
平鎮給水廠	石門淨水場	100 (預估)
大湳給水廠	大湳淨水場	540
新竹給水廠	第一淨水場	300
新竹給水廠	第二淨水場	360
東興給水廠	東興淨水場	50
豐原給水廠	第一淨水場	400
豐原給水廠	第二淨水場	820
鯉魚潭給水廠	鯉魚潭淨水場	600
嘉義給水廠	公園淨水場	60
嘉義給水廠	水上淨水場	80
烏山頭給水廠	烏山頭淨水場	168
台南給水廠	潭頂淨水場	85
台南給水廠	山上淨水場	1080
南化給水廠	南化淨水場	535
澄清湖給水廠	澄清湖淨水場	1200
拷潭給水廠	拷潭淨水場	1200
鳳山給水廠	鳳山淨水場	160
坪頂給水廠	坪頂淨水場	1500
牡丹給水廠	牡丹淨水場	200
宜蘭給水廠	深溝淨水場	48
花蓮給水廠	砂婆噹淨水場	57
台東給水廠	利嘉淨水場	35
彰化給水廠	第三淨水場	30
板新給水廠	板新淨水場	90

資料來源：台灣省自來水公司水質處

表二、我國自來水淨化產生污泥取樣紀錄表

取樣地點	取樣日期	樣品型態	污泥處置	主要水源
台北市				
直潭淨水場	91.05.23	泥餅	事業廢棄物	翡翠水庫
長興淨水場	91.05.23	泥水	事業廢棄物	翡翠水庫
公館淨水場	91.05.23	泥水	事業廢棄物	翡翠水庫
陽明淨水場	91.05.23	泥水	事業廢棄物	大坑溪
雙溪淨水場	91.05.23	泥水	事業廢棄物	雙溪
第一管理區				
新山淨水場	91.06.25	泥沙	事業廢棄物	深井地下水
第二管理區				
大湳淨水場	91.05.29	泥餅	事業廢棄物	石門水庫
平鎮淨水場	91.05.31	泥餅	事業廢棄物	石門水庫
石門淨水場	91.05.31	泥餅	事業廢棄物	石門水庫
第三管理區				
新竹第一淨水場	91.05.29	泥餅	事業廢棄物	頭前溪
新竹第二淨水場	91.05.29	泥餅	事業廢棄物	頭前溪
東興淨水場	91.05.30	泥餅	事業廢棄物	永和山水庫
明德淨水場	91.05.30	泥餅	事業廢棄物	明德水庫
第四管理區				
豐原淨水場	91.05.16	泥餅	事業廢棄物	德基水庫
第五管理區				
公園淨水場	91.06.11	泥塊	事業廢棄物	八掌溪
水上淨水場	91.06.11	泥塊	事業廢棄物	曾文水庫
第六管理區				
烏山頭淨水場	91.06.11	泥沙	事業廢棄物	烏山頭水庫
潭頂淨水場	91.06.11	泥沙	事業廢棄物	烏山頭水庫
山上淨水場	91.06.11	泥沙	事業廢棄物	曾文溪
南化淨水場	91.06.11	泥塊	事業廢棄物	南化水庫
第七管理區				
澄清湖淨水場	91.07.02	泥餅	事業廢棄物	高屏溪
拷潭淨水場	91.07.03	泥餅	事業廢棄物	高屏溪
鳳山淨水場	91.07.03	泥餅	事業廢棄物	高屏溪
坪頂淨水場	91.07.03	泥餅	事業廢棄物	東港溪
牡丹淨水場	91.07.04	泥沙	事業廢棄物	牡丹溪
第八管理區				
深溝淨水場	91.06.25	泥沙	事業廢棄物	深井地下水

表二、我國自來水淨化產生污泥取樣紀錄表（續）

取樣地點	取樣日期	樣品型態	污泥處置	主要水源
<u>第九管理區</u>				
砂婆噹淨水場	91.06.26	泥沙	事業廢棄物	砂婆噹溪
<u>第十管理區</u>				
利嘉淨水場	91.06.27	泥沙	事業廢棄物	大南溪
<u>第十一管理區</u>				
鯉魚潭淨水場	91.06.06	泥餅	事業廢棄物	鯉魚潭水庫
和美淨水場	91.06.06	泥餅	事業廢棄物	深井地下水
大旗尾淨水場	91.06.07	泥餅	事業廢棄物	北港溪
<u>第十二管理區</u>				
板新淨水場	91.04.15	泥餅	事業廢棄物	石門水庫
<u>澎湖</u>				
成功淨水場	91.07.24	泥餅	事業廢棄物	成功水庫
<u>金門</u>				
榮湖淨水場	91.08.07	泥餅	事業廢棄物	深井地下水
<u>馬祖</u>				
勝利淨水場	91.08.21	泥水	事業廢棄物	勝利水庫
儲水沃淨水場	91.08.21	泥水	事業廢棄物	儲水沃水庫
北竿淨水場	91.08.22	泥水	事業廢棄物	板里水庫
<u>綠島</u>				
綠島淨水場	91.08.01	泥沙	事業廢棄物	山泉水
<u>蘭嶼</u>				
東清淨水場	91.08.14	泥沙	事業廢棄物	山泉水

表三、我國自來水淨化產生污泥天然放射性物質含量調查表

取樣地點	^{238}U	^{235}U	^{234}U	^{232}Th	^{230}Th	^{228}Th	^{228}Ra	^{226}Ra	表面劑量率
台北市									
直潭淨水場	15±2	0.093±0.009	14±2	0.71±0.07	0.68±0.07	0.73±0.07	74±3	28±2	0.05~0.15
長興淨水場	9.0±0.9	0.059±0.006	8.9±0.9	0.44±0.04	0.36±0.03	0.45±0.04	48±3	26±2	0.07~0.16
公館淨水場	15±2	0.091±0.009	15±2	0.79±0.08	0.66±0.07	0.77±0.08	83±3	31±2	0.06~0.16
陽明淨水場	6.1±0.6	0.041±0.004	6.0±0.6	0.30±0.03	0.26±0.03	0.31±0.03	32±2	18±1	0.06~0.15
雙溪淨水場	7.1±0.7	0.047±0.005	7.1±0.7	0.35±0.04	0.29±0.03	0.41±0.04	35±2	25±1	0.08~0.17
第一管理區									
新山淨水場	14±2	0.09±0.01	14±2	0.69±0.07	0.65±0.06	0.70±0.07	69±3	42±2	0.06~0.12
第二管理區									
大湳淨水場	15±2	0.09±0.01	15±2	0.70±0.07	0.63±0.06	0.71±0.07	67±4	35±2	0.15~0.19
平鎮淨水場	15±2	0.09±0.01	15±2	0.75±0.07	0.66±0.07	0.77±0.08	79±3	38±2	0.10~0.18
石門淨水場	15±2	0.10±0.01	16±2	0.81±0.08	0.70±0.07	0.80±0.08	79±4	46±2	0.12~0.20
第三管理區									
新竹第一淨水場	6.9±0.7	0.046±0.005	6.9±0.7	0.35±0.04	0.30±0.03	0.34±0.04	36±2	20±1	0.06~0.15
新竹第二淨水場	7.1±0.7	0.045±0.005	7.0±0.7	0.35±0.04	0.29±0.03	0.35±0.04	35±2	25±1	0.09~0.16
東興淨水場	8.0±0.8	0.055±0.006	8.2±0.8	0.41±0.04	0.36±0.04	0.40±0.04	44±3	17±1	0.10~0.16
明德淨水場	8.2±0.8	0.052±0.005	8.2±0.8	0.39±0.04	0.26±0.03	0.41±0.04	39±2	29±2	0.08~0.18
第四管理區									
豐原淨水場	19±2	0.13±0.01	18±2	0.90±0.09	0.79±0.08	0.91±0.09	88±4	49±2	0.12~0.20
第五管理區									
公園淨水場	15±2	0.090±0.009	16±2	0.81±0.08	0.72±0.07	0.80±0.08	83±3	20±2	0.14~0.19
水上淨水場	10±1	0.067±0.007	9.8±0.9	0.60±0.06	0.45±0.05	0.61±0.06	63±3	27±2	0.10~0.19

表三、我國自來水淨化產生污泥天然放射性物質含量調查表（續）

取樣地點	^{238}U	^{235}U	^{234}U	^{232}Th	^{230}Th	^{228}Th	^{228}Ra	^{226}Ra	表面劑量率
第六管理區									
烏山頭淨水場	15±2	0.081±0.008	14±1	0.67±0.07	0.57±0.06	0.66±0.07	67±3	29±1	0.14~0.18
潭頂淨水場	14±2	0.087±0.009	14±1	0.65±0.07	0.51±0.05	0.68±0.07	70±3	37±2	0.14~0.20
山上淨水場	10±2	0.068±0.007	16±2	0.50±0.05	0.44±0.04	0.51±0.05	50±2	24±1	0.15~0.18
南化淨水場	14±2	0.084±0.008	14±1	0.69±0.07	0.77±0.07	0.70±0.07	72±3	27±2	0.16~0.20
第七管理區									
澄清湖淨水場	10±1	0.067±0.007	10±1	0.49±0.05	0.44±0.04	0.50±0.05	47±3	23±2	0.10~0.15
拷潭淨水場	15±2	0.10±0.01	14±1	0.70±0.07	0.66±0.07	0.71±0.05	68±3	28±2	0.06~0.14
鳳山淨水場	5.8±0.6	0.039±0.004	5.6±0.6	0.29±0.03	0.25±0.03	0.31±0.05	31±2	10±1	0.06~0.16
坪頂淨水場	10±1	0.062±0.006	10±1	0.50±0.05	0.44±0.04	0.52±0.05	58±3	33±1	0.10~0.15
牡丹淨水場	23±2	0.16±0.02	24±2	1.0±0.1	1.2±0.1	1.1±0.1	99±5	44±2	0.10~0.20
第八管理區									
深溝淨水場	1.8±0.2	0.012±0.001	1.8±0.2	0.09±0.01	0.10±0.01	0.09±0.01	9.3±0.9	8.1±0.8	0.04~0.12
第九管理區									
砂婆嚨淨水場	4.1±0.4	0.027±0.003	4.0±0.4	0.20±0.02	0.20±0.02	0.21±0.02	22±1	18.1±0.8	0.08~0.15
第十管理區									
利嘉淨水場	13±1	0.87±0.09	13±1	0.65±0.07	0.61±0.06	0.65±0.07	62±3	39±2	0.12~0.18
第十一管理區									
鯉魚潭淨水場	7.6±0.8	0.052±0.005	7.8±0.8	0.39±0.04	0.36±0.01	0.41±0.04	39±2	8.1±0.8	0.08~0.16
和美淨水場	20±2	0.13±0.01	20±2	1.0±0.1	0.80±0.08	1.0±0.1	101±6	66±5	0.15~0.20
大旗尾淨水場	14±2	0.091±0.009	14±2	0.68±0.07	0.66±0.07	0.68±0.07	65±3	42±2	0.10~0.18

表三、我國自來水淨化產生污泥天然放射性物質含量調查表（續）

取樣地點	^{238}U	^{235}U	^{234}U	^{232}Th	^{230}Th	^{228}Th	^{228}Ra	^{226}Ra	表面劑量率
第十二管理區									
板新淨水場	6±1	0.25±0.05	6±1	30±2	36±3	31±2	31±2	46±10	0.09~0.16
澎湖									
成功淨水場	2.4±0.2	0.016±0.002	2.4±0.2	0.12±0.01	0.09±0.01	0.11±0.01	12±1	10±1	0.08~0.15
金門									
榮湖淨水場	23±2	0.15±0.02	23±2	1.1±0.1	0.90±0.09	1.1±0.1	102±4	48±2	0.15~0.20
馬祖									
勝利淨水場	6.0±0.6	0.038±0.004	5.9±0.6	0.28±0.03	0.30±0.03	0.26±0.03	30±1	18±1	0.08~0.18
儲水沃淨水場	3.6±0.4	0.021±0.002	3.6±0.4	0.15±0.02	0.17±0.02	0.18±0.02	20±1	15±1	0.08~0.16
北竿淨水場	8.0±0.8	0.052±0.005	7.9±0.8	0.39±0.04	0.36±0.04	0.41±0.04	43±2	27±1	0.10~0.18
綠島									
綠島淨水場	4.6±0.5	0.032±0.003	4.6±0.5	0.24±0.02	0.21±0.02	0.25±0.03	26±2	21±1	0.09~0.15
蘭嶼									
東清淨水場	3.5±0.4	0.023±0.002	3.5±0.4	0.18±0.02	0.16±0.02	0.18±0.02	18±1	9.3±0.6	0.05~0.15
活度分佈	1.8~23	0.012~0.16	1.8~24	0.09~1.1	0.09~1.2	0.09~1.1	9.3~102	8.1~66	0.04~0.20
美國	150	1.1	150	7.4	7.4	7.4	740	590	0.748

1.活度單位：Bq/kg.dry weight，劑量率單位： $\mu\text{Sv/h}$

2.美國數據取自：鄒建中，”美國飲用水處理產生 TENORM 污泥之實例”，放射性物料網路資訊，中華民國 89 年 3 月。

(<http://www.normis.com/sectors.htm>)

