

以地質的觀點看美國廢棄物海洋處置及其污染

陳 達 偉* 陳 鎮 東**

緒 言：

自古以來，大陸及島嶼的沿海區域就已提供人類多樣的天然資源；譬如充裕的食物供給、利用船隻從事貿易或作為以武力征服外族的捷徑……等等。起初人類是以河流入海口或是某些不受風浪影響的海邊作為朝海洋發展的根據地；但隨著貿易不斷地拓展，為了擴大原有的設施，人類必須以其智慧來克服大自然的種種挑戰，而確保港口的功能並得以持續地使用。為了使天然的航道更寬更深，疏浚挖泥的技術便因應而生。目前我們所知道的是，遠在羅馬時代，海岸工程已成為一項專門的技術——如泰爾 (Tyre)、西丹 (Sidon) 及其它一些港口就已有了碼頭、防波堤或是疏浚渠道這些設施。當然，那個時候都是將挖出的淤泥朝港口外邊倒。但海水中的一些作用，使得過去人們為疏通水道所做的努力沒有留下一點影子。到了1806年，出現利用挖泥機開闢河道或用來保持航道暢通。在同年，位於倫敦的東印度公司亦利用大型的蒸氣船開始維護其碼頭 (Kemp, 1976)。

雖然因疏浚所產生的廢料至今仍是海拋廢物中的大宗，其它種類的廢物也已開始傾倒於沿岸水域中。事實上幾個世紀以來，當船要進港時總會拋掉些壓艙石。如果仔細檢視這些石頭，甚至還可指出他們是從那裏來的呢 (Emery等人, 1968)！當然除了壓艙石之外，其餘的個體廢料，諸如挖出的石頭，拆房子後之建築廢材，灰燼殘渣，舊的瓶罐……這些亂七八糟的東西都被扔到沿岸海域中。很顯然的在美國如將這些廢棄物拋在航道中，將違反了美國聯邦政府的法規（註一）。

由於世界人口的分佈主要密集於大陸及海島的沿海區域中，因此遲早會因近岸海域的開發與使用，而產生某些無可避免的爭議及問題。就拿已開發高度工業化的國家來說，問題老早就發生了；特別是那些過度重覆使用的廢物且已行之有年的國家，其居民很可能會成為不周全的計劃與此種濫用情形下的犧牲者。正如高登柏格 (Goldberg, 1976) 指出，日本就是個活生生的例子。這也難怪主要公害疾病皆有個日本名字；比如 Minamata Disease (甲基汞中毒)，Yusho (多氯化重苯基中毒)，Itai-Itai (鎘中毒，俗稱痛痛病) 皆是。他所提出「人口比率」（註二）的概念，也告訴我們若不提高警覺，海洋環境將會因人們的不愛惜

* 中山大學海洋地質研究所研究生

** 中山大學海洋地質研究所教授兼所長

使用，而產生不良的改變。

對許多國家來說，沿岸海域不僅是主要的天然資源區，亦是對外貿易的大門；但我們卻在這些陸棚區域裏見到形形色色的廢棄物堆積。有鑑於沿海區域的開發與保育對人類具有相當的重要性，在此特別介紹美國沿海區域廢棄物的污染情況，希望能藉此喚起科學家、政府官員及立法者們的注意。當他們需要了解、規劃管理、或是監督某些方法及結果時，能對這些海域活動的重要性及技術上的基本原則加以考慮。

臺灣光復後，由於經建迅速發展，早期環保意識尚未覺醒，以致農工業嚴重污染土壤及河川、湖沼。近年來則已有利用海洋放流，海拋工業廢料及河川疏濬物以減低陸地負荷的例子及體認（陳鎮東，1986；蘇仲卿，1986）。本文就地質的眼光討論些應該注意的事項（註三）。

廢物的管理：

在美國，疏浚和處置淤物是影響河口及沿岸海洋環境最重要的因素之一。因為不論疏浚或處置，其過程皆涉及大量物質的移動 (Boyd 等人，1972)。舉個例子來說，美國一年得花費一億五千萬美元 (1970年的幣值) 清除兩億立方米的沈積物 (維護性疏浚)，以維持航道暢通；同時還得清去六千萬立方米種種因新建工程所生的淤積物。絕大多數的作法是把部份挖起的淤積物 (每年約有一億九千萬立方米) 倒在海灣、河口，河流及湖泊中。其餘的 (差不多也有一億九千萬立方米) 則釋放於淡水 (主要是河流) 及海洋中。維護性疏浚是在南大西洋區域墨西哥灣進行。此外德拉瓦灣的疏浚活動也頗頻繁 (Boyd 等人，1972)。

都市區所疏浚的淤泥主要來自河流的自然沈積物及沿岸漂砂。部份沈積物因河流上游的都市排放廢水，或是農耕地、礦區溪流的影響而受到污染。此外，某些原來未受污染的沈積物 (如海沙)，當其沈積於工業港或已疏浚的航道時，也會因與其它廢棄物相混合而受到污染。諸如此類的淤積物，最後併入都市廢流中而必須予以清除 (Gross, 1972)。

廢物的來源：

河流中沈積物的主要來源是由農耕及採礦所產生的 (Kenahan, 1971)。都市中則因建地興工動土期間，地表裸露受侵蝕作用而來 (Wolman, 1967; Wolman 及 Schick, 1967)。若以單位面積來比較，建地受侵蝕作用所產生的沈積物比因農耕、或採礦所造成者要多上十到一百倍。在美國，由於農地侵蝕所產生的沈積物已從1900年到1920年期間的高峯急遽減少。其原因固然是水土保持工作做的比以前好，但耕地面積的減少也是沈積物數量減少的因素之一。舉個例子來看：在南山麓地帶 (包括南卡羅來納，阿拉巴馬，喬治亞三個州)，每單位面積所產生的沈積物已從1910年到1934年間的每年每平方公里約兩百噸的數量，減少到1967年至1972年間的每年每平方公里三十噸左右 (Meade和Trimble, 1974)。

縱使近年來進入河流之沈積物的數量已逐漸減少，但在過去數十年中因農地侵蝕所產生的泥沙，今天該到了都市的河口區 (特別是在洪水期有利沈積物投運的情形下)。不過自從

歐洲的移民在美國東南部開墾以來，丘陵斜坡受侵蝕作用所產生的泥沙，僅有百分之五左右到了海中 (Trimble, 1975)；其餘的泥沙就暫時沈積在河道、沙洲 (Wolman, 1967; Wolman和Schick, 1967) 或淤積在水壩中 (Meade和Trimble, 1974)。這些沈積物在河水氾濫期會被帶到下游，其中有一部份就堆積在都市化的河口中。

都市區裏，因農耕地及森林轉為建築用地後，伴隨而來的侵蝕作用亦是產生沈積物的一個重要因素 (Wolman, 1967)。根據烏爾曼 (Wolman) 及史屈克 (Shick) 的估計，在一塊建築用地上，每平方公里一年可產生兩萬八千噸的沈積物 (Wolman和Schick, 1967)。就拿巴迪摩爾到華盛頓這個大都會區來說，他們估算：每增加一千人，就會因土地使用情形的變更而產生六百三十噸至一千噸的沈積物，若假設紐約州至新澤西州這個大都會區所受侵蝕情況與前述相似，利用以上的估算數字，我們可推得：1971年到1972年間該區增加二十萬人口之時，同時也產生二十萬噸的沈積物；這相當於把七十五平方公里的耕地，轉為城郊住宅區時由侵蝕作用而生的沈積物之量 (Tri-State Regional Planning Commission, 1973)。從這些數字，我們可想像的到，如此大量沈積物的短暫堆積定會使河牀產生相當大的變化。

除了上述幾種沈積物的來源外，由沿岸流所帶來的漂砂亦是疏浚工作所要清除的對象。我們可利用防波堤、導流堤 (Caldwell, 1966; Yasso 和 Hartman, 1975) 或以疏浚清除海口淤沙等方式來減低漂砂的影響。在某些地區，由於沙灘修補工作所鋪加的砂子會使漂砂略有增加；但因其所佔的量並不是很多，故影響不大。

維護性疏浚工作所清除的淤泥並未加以詳細地分類。就拿一年中所清除的淤泥總量來說，其中大約有半數（一億兩千萬立方米）是砂泥與砂的混合物。此外有六千萬立方米是細粒的泥、黏土和砂泥；四千萬立方米含粗粒的砂、礫石和介殼 (Boyd 等人, 1972)。目前認為維護性疏浚工作清出的淤積物中，有三分之一左右是污染物質 (Boyd 等人, 1972)。但要知道淤積物中所含污染物質的濃度是件頗困難的事。從高污染區（如紐約港）所疏浚出，而後排放於海水中的污泥是近海域沈積物、金屬和營養鹽的主要來源 (Mueller等人, 1976)。

廢棄物去向的追蹤與調查：

我們利用廢棄物具有的物理性質或是其中所含人為的產物，可對廢棄物堆積情形做測繪及鑑別的工作。在淤積物中，常可見到諸如建築廢材、飛灰、種種都市裏的垃圾……等人工產物。就拿下水道污泥來說，裏頭所含一些連污物處理廠也難以「消化」的東西（像是頭髮、蕃茄子、人糞……等），已可拿來做為追蹤劑使用，以研究經處理後放流水的動向。

其次藉著比較廢棄物（如淤積物、下水道污泥），與那些可能堆積在河口或是大陸棚上的自然沈積物間化學組成的差異，來對廢棄物堆積情形做研究。上述的兩種方法——利用物理性質不同（如顆粒大小的變化）及工業廢棄物或家庭廢棄物中，特定化學成份的富集（如鉛、銀、碳……等）——在研究某些廢棄物堆置的情形時，提供了相當有用的指標 (Gross, 1970a, 1970b; Carmady 等人, 1973)。

此外，利用沈積物化學性質的改變，有助於在砂質沈積物區對廢棄物堆積、分佈做測繪的工作 (Gross, 1976)；但若該地原來的沈積物，其含碳量及物理性質和廢棄物相似的話，

這種方法就不太適用了。對某些廢棄物的堆積而言，下水道污泥中的固體顆粒仍是個相當有用的指標；但要是這些顆粒也沈積下來，可就一點用也沒有了。利用這些不同的判別方法與指標來測繪廢棄物的分佈狀況，我們可以清楚地看到，含碳豐富及金屬含量高的廢棄物廣佈於工業化的港口內——如紐約 (Gross, 1972) 和巴迪摩爾 (Villa 和 Johnson, 1974) 就是很好的例子。

在水較淺的地區，廢棄物固體顆粒通常就積聚在傾倒區裏；除非其為低密度，顆粒細的粒子，很可能在還未沈降到海底前就被海流帶走。以紐約灣為例，從十九世紀末以來，所拋棄的廢棄物就堆積在靠近哈德遜河口前端 (Gross, 1976; Carmody 等人, 1973)，軸線上水深超過十五米 (Williams 和 Dnane, 1974) 的傾倒區中，而少有超過此區者。

廢棄物拋置所造成的影響：

除了少數幾條大河外，絕大部份經由河流搬運的物質會堆積在河口、海灣或港口中 (Emery, 1965; Meade, 1969)；惟有當我們清楚這個情形後，才會認真地考慮將廢棄物拋置於大陸棚上所產生的種種後果。因此疏浚工作就不僅只是涉及大量淤物的清除，還得考慮拋在並無很多其它沈積物可資覆蓋或稀釋的大陸棚上時，可能發生的一些問題 (Gross, 1970c; 1972)。

一般來說傾倒的地點只侷限在某些區域中；通常一次就倒下好幾噸的廢棄物，使得傾倒區的海底在短時間內鋪了層相當厚的固體廢棄物。這些指定的傾倒地點面積只有幾平方公里，但很可能由於載運廢棄物船隻航線的偏差，不利的天候狀況或是非法傾倒諸種因素，使實際傾倒面積比法定的區域大得多。現在已可利用小型潛艇 (Folger 等人, 1979) 對廢棄物（如污泥、封閉於容器中的放射性廢棄物，種種工業副產品……等）的最終沈積情形及分佈做研究；而且這種調查方式，對傾倒廢棄物所產生的種種結果做最直接的觀察 (Palmer, 1977)。

對於排放到海洋中下水道污泥散佈情形的研究指出，細顆粒，低密度廢棄物對沿岸海水可能會造成一些影響 (NOAA, 1975, 1976)。這些細粒低密度的顆粒保持懸浮狀態，而且當其釋於近表面的海水中時，會形成一股肉眼可見，隨當地表面海流移動的變色水。此外，在較水淺的區域，由於波浪的擾動與海流的流動，使海底的堆積物再度被帶起而在別處沈積下來 (Harris, 1976; Smith 等人, 1976)。

通常淤泥堆積物中富含有機碳和金屬 (Gross, 1976; Segar 和 Cantillo, 1976; Thomas 等人, 1976)，然而我們到目前為止，仍不清楚金屬富集對生態系統究竟會有什麼樣的影響。不過至少有證據顯示底棲生物會累積金屬。至於金屬經由海產到人體內這個涉及公衆健康的問題，目前並未廣泛地研究 (Verber, 1976)。

在一些已承受長期大量廢棄物傾倒的地區，底棲生物族羣已經產生重大的變化。以紐約灣為例 (Pearce, 1972)，一些原本生物繁茂生長的地方做為廢棄物傾倒區後，生物的種類和數量皆急遽減少。此種顯著的變化可能是由於海底物理性質的改變，廢棄物中所含毒性金屬，碳氫化合物的影響，或是近底海水溶氧量的減少所造成。此外海中生物很有可能受污染性

沈積物的影響而生病，如魚鰭潰爛（魚鰭組織的壞死）(Murchelano和Ziskowski; 1976)或是螃蟹，龍蝦及其它甲殼類生物外殼的腐蝕皆是(Rosenfold, 1976)。

許多沈積物中，由下水道污泥而來的成份裏帶有可致病的病媒體；這使得一些過去曾做為海汙區的海底不適合當做食用貝類的生產場所，對垂釣者來說也不具吸引力。

把廢棄物拋在大陸棚上定會改變其原有的地形及沈積物成份、組織。例如堆積在哈德遜河谷前端的淤積物已部份淤塞河谷的一條分枝(Williams, 1975; Freeland 等人, 1976)。1936年及1937年曾對此地各做了次調查；在這兩次調查期間，傾倒於該處的淤積物厚度已超過十米，佔了近乎目前有案可查總傾倒體積的百分之八十七(Freeland 等人, 1976)；而在早些時候所傾倒的廢棄物就已使該處形成了些比附近地形高出八米的小丘(Williams, 1975)。

淤物的傾倒，使得海底沈積物組織的一些變化相當明顯。比如說在哈德遜河谷，就可看到一些磚塊堆，水泥碎塊、廢棄石材所堆積起相當顯眼的堆積層——這是因為過去大家把興建房子及拆屋時的建築廢料都朝這兒傾倒的緣故(Freeland 等人, 1976)。至於細粒含碳豐富的物質最後去向就較難掌握。哈德遜河谷的最深處鋪著富含金屬（典型工業廢物）(Gross, 1972, 1976; Harris, 1976)及有機碳——全碳水化合物(organic carbon-total carbohydrates)(Hatcher 和 Keister, 1976)的細粒沈積物(Freeandl 等人, 1976)。由其中所含的成份看來，顯示部份的沈積物是來自細顆粒的廢棄物粒子。但是目前還沒有可用的方法指出究竟多少的廢棄物與自然生成的沈積物相混合。

且不論我們是以何種觀點來檢視清淤和傾倒廢棄物這兩件事，很顯然的這是兩樁絕不容我們忽視的工作——一方面是由於涉及大量物質的移動，二來是因其費用日益地增加，所以得審慎考慮各種相關的問題。傾倒區中的淤物可能會引發若干的問題，也可能造成某種目前未知的環境危機或危害到公眾健康。對於本文所提及種種問題的研究，正是我們要瞭解自然力量及其作用過程，與文明「副產品」間錯綜複雜關係時，所必經的步驟。

(註一) 近一百年前，為了使航運繁忙的紐約港水道維持暢通，美國國會在1888年6月29日通過一項法案，指定一監督者，負責處理並規劃廢棄物傾倒場所。同樣的法令亦用於巴迪摩爾及漢普頓路港(Hampton Roads Harbors)——顯然不僅只是紐約港受到亂倒垃圾的困擾。

(註二) 指國家的國民生產毛額對國土面積、人口數及廢棄物通量之比。

(註三) 本文取材自 M. G. Gross及H. D. Palmer 所著 Waste Disposal and Dredging Activities: The Geological Perspective, Ocean Dumping and Marine Pollution, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. 1979.

參考資料：

陳鎮東，1986，走出陸地，臺灣日報（二月二日）。

蘇仲卿，1986，海洋是否可當永久的垃圾場？海洋科學學術研討會論文摘要集，18-19頁

- Biscaye, P. E., and C. R. Olsen. 1976. Suspended particulate concentrations and compositions in the New York Bight. Am. Soc. Limnol. Oceanogr. Spec. Symp. 2:124-37.
- Boyd, M. G., R. T. Saucier, J. W. Keeley, R. L. Montgomery, R. D. Brown, D. B. Mathis, and C. J. Guice. 1972. Disposal of dredge spoil. U. S. Army Waterw. Exp. Stn. Tech. Rep. H-72-8, Vicksburg, Mississippi, 121 pp.
- Caldwell, J. M. 1966. Coastal process and beach erosion. J. Soc. Civ. Eng. 53(2): 142-57.
- Carmody, D. J., J. B. Pearce, and W. E. Yasso. 1973. Trace metals in sediments of New York Bight. Mar. Pollut. Bull. 4(9):132-35.
- Emery, K. P. 1965. Geology of the continental margin off eastern United States. In Submarine Geology and Geophysics, W. F. Whittard and R. Bradshaw, eds., pp. 1-20. Butterworth, London.
- Emery, K. O., Kaye Loring, and Nota Dfg. 1968. European Cretaceous flints on the coast of North America. Science 160:1112-25.
- Folger, D. W., H. D. Palmer, and R. A. Slater, Two waste dispcsal Sites on the continental shelf off the middle Atlantic Statesi Observations made from submersibles, In Ocean Dumping and Marine Pollution, H. D. Palmer and M. G. Gross, eds., pp. 163-184, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., 1979.
- Freeland, G. L., D. J. P. Swift, W. L. Stubblefield, and A. E. Cook. 1976. Surficial sediments of the NOAA-MESA areas in the New York Bight. In Biscaye and Olsen, 1972, pp. 99-101.
- Goldberg, E. D. 1976. The Health of the Oceans. UNESCO Press, Paris, 172 pp.
- Gross, M. G. 1970a. New York metropolitan region--A major sediment source. Water Resource Res. 6:927-31.
- Gross, M. G. 1970b. Preliminary analysis of urban wastes, New York metropolitan region. Mar. Sci. Res. Cent. Tech. Rep. 5. State University of New York, Stony Brook, 35 pp. Also in Congr. Rec. 116(31):S2885-90.
- Gross, M. G. 1970c. Analyses of dredged wastes, fly ash and waste chemicals, New York metropolitan region. Mar. Sci. Res. Cent. Tech. Rep. 7. State University of New York, Stony Brook, 33 pp.
- Gross, M. G. 1972. Geologic aspects of waste solids and marine waste deposits, New York metropolitan region. Geol. Soc. Am. Bull. 83: 3163-76.
- Gross, M. G. 1976. Waste disposal. MESA New York Bight Atlas, Monogr. 26. New York Sea Grant Inst., Albany, 32 pp.
- Harris, W. H. 1976. Spatial and temporal variation in sedimentary grain-size

- facies and sediment heavy metal ratios in the New York Bight apex. In Biscaye and Olsen, 1976, pp. 102-23.
- Hatcher, P. G., and L. E. Keister. 1976. Carbohydrates and organic carbon in New York Bight sediments as possible indicators of sewage contamination. In Biscaye and Olsen, 1976, pp. 240-48.
- Kemp, P. 1976. The Oxford Companion to Ships and the Sea. Oxford University Press, New York, 971 pp.
- Kenahan, C. B. 1971. Solid wastes--resources out of place. Environ. Sci Technol. 5:594-600.
- Meade, R. H. 1969. Landward transport of bottom sediment in estuaries of the Atlantic Coastal Plain. J. Sediment. Petrol. 29:222-34.
- Meade, R. H., and S. W. Trimble. 1974. Changes in sediment loads in rivers of the Atlantic drainage of the United States since 1900. Int. Assoc. Sci Hydrol. Publ. 113:100-104.
- Mueller, J. A., A. R. Anderson, and J. S. Jeris. 1976. Contaminants entering the New York Bight: Sources, mass loads, significance. In Biscaye and Olsen, 1976, pp. 162-70.
- Murchenalo, R. A., and J. Ziskowski. 1976. Fin-rot disease studies in the New York Bight. In Biscaye and Olsen, 1976, pp. 329-36.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 1975. Ocean dumping in the New York Bight. NOAA Tech. Rep. ERL-321-MESA, 278 pp.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 1976. Evaluation of proposed sewage sludge dumpsite areas in the New York Bight. NOAA Tech. Rep. ERL-MESA-11, 212 pp.
- Palmer, H. D. 1977. The use of manned submersibles in the study of ocean waste disposal. In Submersibles and Their Use in Oceanography and Ocean Engineering, R. A. Geyer, ed., Elsevier Oceanography Series No. 17, Elsevier Science Publ. Co., Amsterdam, 383 pp.
- Pararas-Carayannis, G. 1973. Ocean dumping in the New York Bight: An assumption of environmental studies. Tech. Memo. 39, Coastal Engineering Research Center, U. S. Army Corps of Engineers, 159 pp.
- Pearce, J. B. 1972. The effects of solid waste disposal on benthic communities in the New York Bight. In Marine Pollution and Sea Life, M. Raivo, ed., pp. 404-11. Fishing News (Books) Ltd, London.
- Rosenfeld, A. 1976. Infectious diseases in commercial shellfish on the Middle Atlantic coast. In Biscaye and Olsen, 1976, pp. 414-23.
- Segar, D. A., and A. Y. Cantillo. 1976. Trace metals in the New York Bight.

- In Biscaye and Olsen, pp. 171-98.
- Swift, D. J. P., G. L. Freeland, P. E. Gadd, G. Han, J. W. Lavelle, and W. L. Stubblefield. 1976. Morphologic evolution and coastal sand transport New York-New Jersey shelf. In Biscaye and Olsen, 1976, pp. 69-89.
- Thomas, J. P., W. C. Phoel, F. W. Steimle, J. E. O'Reilly, and C. A. Evans. 1976. Seabed oxygen consumption--New York Bight apex. In Biscaye and Olsen, 1976, pp. 354-69.
- Trimble, S. W. 1975. Denudation studies: Can we assume steady state? Science 188:1207-08.
- Verber, J. L. 1976. Safe shellfish from the sea. In Biscaye and Olsen, 1976. pp. 433-41.
- Villa, O., Jr., and P. G. Johnson. 1974. Distribution of metals in Baltimore Harbor sediments. Tech. Rep. 59, Annapolis Field Off. Reg. III, EPA-90319-74-012.
- Williams, S. J. 1975. Anthropogenic filling of the Hudson River (shelf) Channel. Geology 3:597-600.
- Williams, S. J., and D. B. Duane. 1974. Geomorphology and sediments of the inner New York Bight continental shelf. U. S. Army Corps of Eng. Tech. Mem. 45. Coastal Eng. Res. Cent., Fort Belvoir, Va.
- Wolman, M. G. 1967. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. Geografiska Annaler 49A:385-95.
- Wolman, M. G., and A. P. Schick. 1967. Effects of construction on fluvial sediment, urban and suburban areas of Maryland. Water Resource Res. 3:451-64.
- Yasso, W. E., and E. M. Hartman, Jr. 1975. Beach forms and coastal processes. MESA New York Bight Atlas, Monogr. 11, 51 pp.