

NTA對地下水可能造成污染之模擬分析

Modeling Analysis of Possible Pollution by NTA in Groundwater

國立臺灣大學土木工程系副教授

郭 振 泰

Jan-Tai Kuo

摘 要

本文探討一種清潔劑之添加劑NTA (Nitrilotriacetic Acid)對地下水質可能造成之污染。文中簡要地討論 NTA 在環境中之分佈歷程；研究重點為利用數學模式模擬NTA在地下含水層之可能濃度及分佈情形，作為管制 NTA 生產、使用之依據。本研究利用 SESOIL (SEasonal SOIL compartment model) 模擬 NTA 在土壤未飽層之垂直輸送、吸附、分解等現象。SESOIL 的模擬結果被輸入 AT 123D (Analytical Transient ONE-, TWO-, and THREE-Dimensional simulation of waste transport in the aquifer system) 模式，繼續模擬 NTA 在地下未拘限含水層中之分佈情形。本分析屬於一般平均性模擬，主要目的為計算 NTA 在平均性地下含水層之最大可能濃度，供化學污染物管制之用，而不是針對某一特定含水層作分析。

Abstract

This paper analyzes potential groundwater pollution by NTA (Nitrilotriacetic Acid) which is a builder for detergent. SESOIL model (SEasonal SOIL compartment model) is first used to model hydrological balance and transport, adsorption and decay of NTA in the unsaturated soil column. Results of SESOIL including quantity of recharge water into the water table (unconfined) aquifer and the concentration of NTA containing in recharge water are used as inputs to AT123D (Analytical Transient ONE-, TWO-, and THREE - Dimensional waste transport in the aquifer system) model. AT123D is employed in this work to calculate the concentration of NTA at any location and time by considering transport, adsorption and decay of the chemical in the aquifer. From the calculated results of AT123D, the average concentration of NTA containing in well water can be obtained for environmental management and control of this chemical. Sensitivity analyses of models are also carried out for this generic study. The pathway of NTA and governing equations of groundwater pollution models are also discussed in this paper.

一、前 言

地下水污染的問題，在工業化先進國家愈來愈嚴重，也愈受重視。地下水質遭受污染的原因主要有以下數種：(1)垃圾衛生掩埋場之滲漏水，(2)家庭消化槽 (septic tank) 之排放水，(3)工業廢水儲存槽之滲漏廢水，(4)地下核能廢料儲存場，(5)將廢水滲入廣大地面之方法 (land treatment of sewage) 及 (6)農田之肥料與農藥隨雨水進入地下。在美國約有一千七百萬個家庭消化槽，每年將 $3 \times 10^9 \text{m}^3$ 的排放水滲入地下；另外有四十萬個其它廢物、廢水儲存場，每年將 $3.5 \times 10^9 \text{m}^3$ 的污水排放入地下 [1]。在美國至少有一萬六千個垃圾衛生掩埋場，每年處理 230×10^6 噸的廢棄物；另外每年消耗 500×10^6 lbs 的農藥，用掉更多的肥料。在本省，也有不少的垃圾場及廢水、廢物儲存場，另外大部份地區目前均無衛生下水道，家庭污水到處流動，滲透入地下，容易造成地下水污染。

地下水污染分析與研究不是一件容易的事，因為地下水系統通常十分複雜，地質、水文條件非常不均勻，地下水的流動緩慢，量測地下水理、污染物分佈均不容易，且費時費力。一旦地下水受到污染，需要很長的時間才能使它恢復原狀，是一件很棘手的問題。

在1970年以前，有關地下水的研究，大部份仍偏重於水量方面，因為那時人們關心的問題為地下水量的開發、管理。但1970年以後，有關地下水污染的研究 (包括地下水中污染物輸送模式) 不斷地出現，目前在先進國家 (尤其是美國)，是一個十分熱門的研究題目。主要原因是在美國每年 EPA (環境保護署) 等機構要花許多錢來處理許多地下水污染問題，包括清除許多工業毒性物質的污染源。

本文主要目的為探討一種化學物 NTA (Nitrioltriacetic Acid) 對地下水可能造成污染之分析。文中利用描述地下污染物輸送 (transport) 及生化反應的數學模式為工具，改變模式之各種參數，模擬許多土壤物理狀況，以得到較可靠的結果。文中並且針對 NTA 的特性及模擬地下水污染物的控制方程式，作一簡要的介紹，可供研究地下水污染的參考。

二、NTA 簡介

NTA 的分子式為 $\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_3$ ，可以代替傳統之清潔劑中之磷酸鹽 (phosphate) 添加

劑 (builder)。家庭污水中若含有磷，排放入湖泊、水庫，會引起優養 (eutrophication) 現象，可能使水體中浮游植物 (藻類) 大量繁殖，影響水質及水生生態系統。在加拿大、瑞典、荷蘭等國家，NTA 已普遍使用 [2,3]；但在美國，NTA 還未大量使用，有人認為 NTA 對人體、生物有毒性，因此美國環境保護署這幾年來花了許多時間及人力，分析它對環境、生態的影響。

根據許多學者的研究 [2]，NTA 在污水處理廠、河川等有氧氣存在的環境中，分解迅速，因此殘留量低。若含有 NTA 的清潔劑大量在家庭被使用，則在各污水處理廠之入流污水中將含有大量的 NTA，但因為上述原因，河川中之 NTA 濃度不會顯着，因此對自來水源及水生生態造成的影響，可望不會有問題。但在美國有 30% 的家庭，因為位於鄉間，其污水不流入衛生下水道系統，而流入家庭消化槽裏，經過消化處理，再經由地下排水管，將污水分佈於較大的面積，滲入地下。在消化槽中氧氣並不多，地下較深處也缺氧，因此 NTA 的分解速率變慢，地下水中之 NTA 濃度可能較顯著，將可能使地下水源受到嚴重且普遍性的污染。

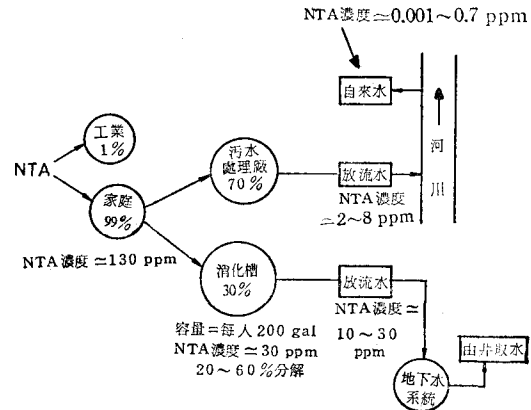


圖 1 NTA 的可能路徑及分佈示意圖

圖 1 表示 NTA 的可能路徑及分佈情形，在美國工業界 NTA 的使用量祇佔總量 1%，其餘 99% 將在家庭中使用 (據估計，若全美國普遍使用含 NTA 之清潔劑，則每年需 $3 \sim 5 \times 10^8$ kg 之 NTA)。70% 的家庭，其污水流到公共污水處理廠，經污水處理過程後，放流水中 NTA 之濃度減低至 2~8 ppm [4]，放流點下游可能成為水源，經過分析 [4]，水源中之 NTA 濃度約為 0.001~0.7 ppm

另外30%的家庭使用消化槽，流入消化槽之污水中，NTA濃度約為 130ppm，消化槽之容量每一家庭每人需 200gal。在消化槽裏，NTA的濃度約為 30ppm，有 20~60%的 NTA在消化過程中被分解，因此滲透入地下前，NTA 在消化槽之放流水中，濃度約為 10~30ppm，此即為後面模擬時所需之模式輸入資料。若抽取地下水當水源，則吾人關心的是：井水中含有多少NTA 濃度，是否對人體有害等問題。本文之模擬分析，即是希望能回答前者問題。

三、控制方程式

地表水（如河川、河口、湖泊）之水質模擬，時常祇解污染物平衡、輸送方程式，解方程式所需之流速（advection）及擴散或延散（diffusion or dispersion）係數，可以由實測或經驗公式而來〔5〕；因為實地量測地表水中之水理現象（如流速、擴散情形）比較容易。但欲大規模地量取地下水中之水理、水文情形，則較為困難，且須費時費錢；因此，地下水質模擬所須之水理現象（包括地下水流速、擴散係數），通常藉地下水理模式求得，也即一個模式包含二個副模式（submodels），第一個副模式為地下水理副模式（groundwater hydraulics submodel），第二個為污染物輸送副模式（pollutant transport submodel）。水理副模式所求得的水理現象，最好能經過初步驗證（雖然一般實測資料少，很難詳細驗證），成為污染物輸送副模式的輸入資料，進而模擬污染物在地下之移動情形及分佈。

描述地下水移動及污染物輸送的控制方程式有許多型式。以下為通用型式的一種〔6,7〕，且可以應用於飽和層及未飽和層。

水理：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} [k_x(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [k_y(\phi) \frac{\partial \phi}{\partial y}] + \\ & \frac{\partial}{\partial z} [k_z(\phi) (1 + \frac{\partial \phi}{\partial z})] = [\frac{\theta}{n} S_s + C(\phi)] \\ & \frac{\partial \phi}{\partial t} \pm Q \end{aligned} \quad (1)$$

污染物輸送：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} [\theta D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + \theta D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + \theta D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z}] + \\ & \frac{\partial}{\partial y} [\theta D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} + \theta D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + \theta D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z}] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - \frac{\partial}{\partial z} [\theta D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + \theta D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + \theta D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z}] - \\ & \left[\frac{\partial (V_x c)}{\partial x} + \frac{\partial (V_y c)}{\partial y} + \frac{\partial (V_z c)}{\partial z} \right] \\ & = \frac{\partial (\theta c)}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial s}{\partial t} + k_m \theta c^m \pm R \end{aligned} \quad (2)$$

x, y, z = 座標 (L)

t = 時間 (T)

k_x, k_y, k_z = x, y, z 方向之水力傳導係數 (hydraulic conductivity) (L/T)，
為 ϕ 之函數

ϕ = 壓力水頭 (pressure head) (L)

θ = 含水量比值 (moisture content) (無單位)

n = 孔隙率 (porosity) (無單位)

S_s = 儲水比數 (specific storage) (L⁻¹)

$C(\phi)$ = 含水能力比數 (specific moisture capacity) (L⁻¹) = $\partial \theta / \partial \phi$

Q = 其它來源或消失項 (fluid sources or sinks) (T⁻¹)

D_{ij} ($i, j = x, y, z$) = 延散張量 (L²T⁻¹)

c = 污染物或被溶質 (solute) 濃度 (ML⁻³)

V_x, V_y, V_z = 地下水在 x, y, z 方向之流速 (Darcy velocities) (LT⁻¹)；

$$V_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x},$$

$$V_y = -k_y \frac{\partial h}{\partial y}, V_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

h = 總共水頭 (L) = $z' + \phi$

z' = 高度水頭 (elevation head or potential head)

ρ_b = 土壤之全乾密度 (bulk dry density of porous medium) (ML⁻³)

s = 土壤每單位重能吸附污染物之重量 (無單位)

k_m = 污染物消失速率 (decay coefficient) (T⁻¹)

m = 代表生化消失階數 (m -th order of chemical/biological decay)

R = 其它污染物之來源或消失項 (ML⁻³T⁻¹)

若位於飽和層，則 $\theta = n$ ， $C(\phi) = 0$ ，方程式 (1)、(2) 可以進一步簡化。解以上方程式可用解析法（但必須簡化方程式），或數值法；數值法包括有

限差分、有限元素及特性法。這十幾年來，文獻上不斷有各種地下水質、水量模式出現，如今已不勝枚舉，詳細可見參考文獻〔1,8〕。由於地下的物理特性不均勻，地下水層的邊界條件也相當複雜，因此對大區域地下水量、水質模擬問題，數值方法常常為必須工具。但是，為了省時省力，也常常可將實際的問題簡化（例如假設土壤特性不隨地點、時間而變化），且分析結果可合乎精度要求，而採用解析法即可。

四、本研究使用之模式

(一)非飽和層 (unsaturated zone)

在非拘限含水層之上的非飽和層含有土壤、空氣、水三種介質(見圖2)。本研究模擬 NTA 在非飽和層之分佈，採用之模式為 SESOIL (A SEasonal SOIL compartment model)〔9〕，由 Arthur D. Little, Inc. 及 EPA 所發展而成。SESOIL 模式主要目的為模擬污染物在未飽和層土壤內長期性(季節性)之變化及分佈。模式之功能主要又細分為三種：(1)水文模擬 (water cycle)：利用 Eagleson 的水文演算方法〔10〕，考慮降雨、入滲、蒸發、地表逕流、地下水逕流等現象，為一種統計數學模式，(2)沉滓移動模擬 (sediment cycle)：考慮土壤沉滓由於風吹之損失 (sediment resuspension)，另外考慮由於雨水之沖蝕 (sediment washload) 等現象，(3)污染物輸送 (pollutant cycle)：考慮污染物之流動、擴散、揮發 (volatilization)、吸附/脫離 (adsorption/desorption)、化學分解 (chemical degradation/decay)、生物轉變 (biological transformation/uptake)、水解 (hydrolysis)、光分解 (photolysis)、氧化 (oxidation) 等複雜的反應過程。

SESOIL 將土壤未飽和層在深度(z)方向分為 1 至數層 (compartments or zones)，在每土壤層，可將質量(水、污染物等)平衡方程式寫出來，利用相當於有限差分法求解每土壤層內之平均水文狀況及污染物濃度。時間尺度方面，可選擇年或月模擬，輸入之資料屬於中等複雜程度，電腦程式設計屬於簡便式 (user-friendly)。

(二)飽和含水層 (saturated zone or water table aquifer)

本研究模擬 NTA 在飽和層之輸送及分佈，使用 AT123D (Analytical Transient ONE-

TWO-, and THREE-Dimensional simulation of waste transport in the aquifer system)〔11〕模式，此模式由 Oak Ridge National Laboratory 所發展，此模式之主要目的為計算污染物在地下含水層之輸送情形。AT 123D 利用解析法中 Green's function 的技巧，使用模式時能有許多彈性，可模擬一維、二維及三維的含水層，可處理放射性廢料、化學物及熱等污染物，可考慮點污染源 (point source)、線污染源 (line source) 及面污染源 (area source)，也可處理瞬間 (instantaneous)、連續 (continuous) 及固定期距 (finite duration) 之污染物排放，另外對有限寬度、深度及無限寬度、深度之含水層，也有許多彈性處理。模式中處理物理及生化反應之現象包括：流動、擴散、吸附、分解、揮發等。可被考慮之邊界條件有 Dirichlet、Neumann、混合型等。AT123D 之資料輸入並不複雜，輸出結果也容易辨認，是解析模式之優點之一。

五、模擬分析

(一)NTA 在非飽和層之輸送

本研究不特別對某一地點或某一地下水層進行分析，而是模擬 NTA 在一般地下含水層之分佈，因此所選取的地下水層及模式中所用的參數均為一般 (generic)、平均性，而不是特定性的 (site-specific)；因為本研究的目的是瞭解 NTA 在地下水可能的一般分佈情形，以為管制 NTA 之生產與使用，因此不針對某一特定地點進行分析。

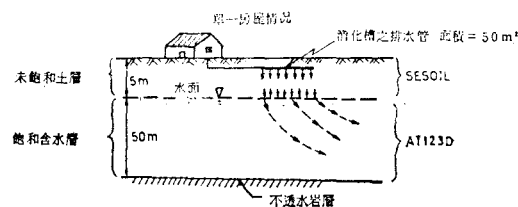


圖2 單一房屋及地下水層示意圖

本研究之代表性區域為一面積 1,000 acres，有 2,000 戶房屋之社區，每戶所佔面積小於 0.5 acre。使用 SESOIL 時，可祇對一戶的情況進行模擬 (見圖 2 及圖 3)，由 SESOIL 的結果 (最下層之垂直移動水量 Q_z 、濃度 c_z)，可得知 $2,000 Q_z c_z$ 的 NTA 量進入含水層上方；相當於每單位面積相等之 1,000 acres 面污染源 (圖 3)，此即為 AT123D 的輸入資料。模式所採用之參數列於表 1，除了一

般代表性的實際數值外，這些參數乃根據文獻期刊及工程判斷而得。每戶家庭消化槽放流水之排水管面積假設為 50m^2 (將廢水由較大的面積入滲，藉土壤之吸附作用，加速生物分解作用等，以減少污染物在地下之濃度) [12]。家庭廢水量假設為 300 gal/day [13]，每一家庭平均有 4 個人，因此相當於 77.6 cm/month 的水量入滲。消化槽放流水之 NTA 濃度為 12 ppm (其它的濃度，可將所得結果依照線性關係求得)。未飽和土壤層之深度假設為 5 m ；取較淺土壤層，使結果較為保守。土壤之分層，有二層及三層的情形，考慮到上層有氧氣存在，但在下層 (或下面二層) 氧氣較少，因此 NTA 之分解速率在每層均不相同 (見表 1)。由於各種參數不同，產生不同之模式輸入資料組合，本研究共模擬了 42 種情形 (runs)。

由這 42 個模擬，可知由未飽和層滲入水表面含水層 (water table aquifer) 之水量 Q_2 每年為 $908 \sim 925\text{ cm}$ (包括降雨及消化槽之放流水)；而 NTA 的濃度在入滲至含水層之水中濃度 c_2 為 $0.2 \sim 2.6\text{ ppm}$ 。若有較高之水力傳導係數 k_2 ，較小的分解速率及較淺的含氧土壤層，則入滲入含水層之 NTA 濃度 c_2 較高；反之，則 c_2 較低。

(二) NTA 在含水層之輸送

如前面已述，輸入 SESOIL 模式將總共 $2,000Q_2$ 的 NTA 平均分佈於 $1,000\text{ acres}$ ($2012\text{ m} \times 2012\text{ m}$) 的區域 (圖 3)。有關 SESOIL 的其它輸入資

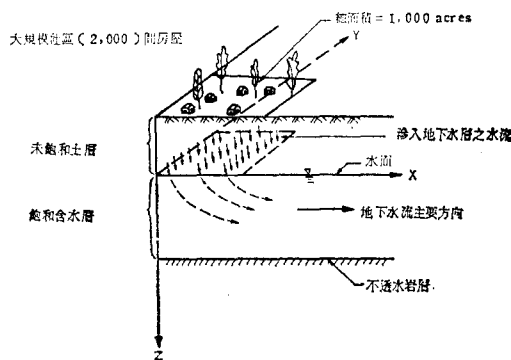


圖 3 大規模社區及其地下水層示意圖

料見表 2；與表 1 類似，有許多參數乃依據工程判斷而來；或希望得到較保守的分析結果，因此假設一些較保守的參數值 (譬如含水層厚度 50 m)。

與 SESOIL 相同，AT123D 也有 42 個模擬，分別代表不同之參數下， 2000 戶社區之地下水受 NT

A 污染之濃度分佈。假設模式已模擬至平衡狀態 (steady-state)，則 NTA 在含水層之濃度仍與地點 (x, y, z) 有關係。若將各深度下之最大 NTA 濃度 $C_{\text{max}}(z)$ 與深度 z 之關係畫出 (如圖 4)，則可

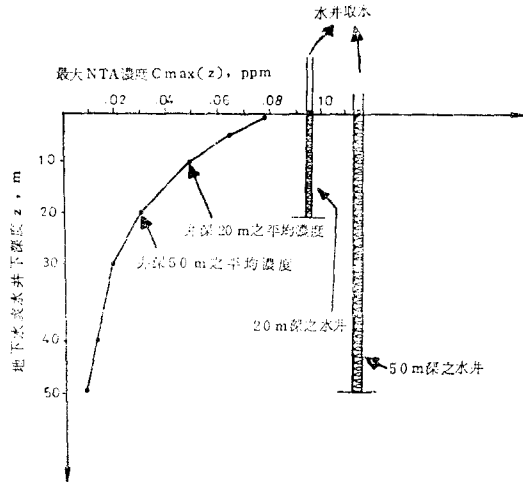


圖 4 最大 NTA 濃度與水井深度之關係

知若鑿井取水時，可能抽取之地下水中，最大可能之 NTA 濃度為何；圖 4 仍舉第 6 個模擬為例，其模式之參數值為本研究採用值範圍內之中間者。

(三) 模擬結果討論

若鑿井深度為 50 m (即穿透整個含水層深度)，則可用含水層深度為 20 m 之濃度，大略地代表所取用井水之平均濃度 (圖 4)，由 42 個模擬結果，可知平均 NTA 濃度 ($C_{\text{max}}(z)$ 之平均值) 之範圍為 $0.002 \sim 0.34\text{ ppm}$ 。若鑿井深度為 20 m ，則可用 10 m 深處之濃度代表井水之平均濃度，由模擬結果可知 NTA 之平均濃度要比井深為 50 m 的情形高些，但對濃度範圍而言，二者之間很接近。

本研究另外也模擬單一房子情況，也即 AT123D 採用之 NTA 進入地下水層污染量 $Q_2 c_2$ ，而不是 $2,000Q_2 c_2$ ；這種分析，可作為探討單一房子使用 NTA 對地下水污染之影響。但因井的位置、離房子的距離等因素，為決定井水中 NTA 濃度之因素，因此較難定出一判斷標準。在此對其結果，不作詳細討論。

本研究探討的地下含水層屬於水表面含水層 (即未拘限含水層)，若井 (如都市用水井) 由拘限含水層取水時，則井中之 NTA 濃度應該會較低。對拘限含水層的研究，若欲用如前所述之一般性、平均性模擬，可能比較困難；因為，進入拘限含水層之污染源的位置，方式變化很大。當然可對某

一特定含水層模擬，但必須有詳細的地下資料，有時是不容易取得的。

模擬所得之結果，譬如井水中之 NTA 濃度範圍，將提供給研究毒物、毒性學家(toxicologist)判斷是否對人類、生態、環境可能有顯着的影響，進一步供管制 NTA之參考。事實上，本研究所採用之 NTA 化學、物理特性係數，大都由化學家所提供；毒性物質分析、模擬、管制，是一個跨許多行的工作，必須有一個良好的隊伍，包含各方面的專家，才可作好整個工作。本文所介紹的一些步驟、模式分析是一位環境工程師或水利（地下水文）工程師的工作，祇是整個環境污染探討的一部份工作而已〔15〕。

六、結 論

1. 本文簡要地討論地下水污染問題及數學模式，進而分析一種清潔劑之添加劑 NTA 之歷程，及 NTA 由家庭污水至地下水中之可能分佈情形。

2. 本研究利用數學模式，模擬 NTA 在地下未拘限含水層中可能之濃度，供環境學家、毒物學家分析地下水質污染之用，進而用以管制此種化學物之製造及使用。

3. 本研究使用之模式有二：(1) SESOIL：用以模擬地下水文平衡及 NTA 之輸送、分解，(2) AT123D：利用 SESOIL 之結果，模擬 NTA 在地下含水層中之輸送及分佈。前者模式類似有限差分法，後者為解析法。二者均不是過份複雜的模式，後者在使用上尤其簡易。

4. 本文所分析的地下環境屬於平均性、一般性，而不是某一特定地區之地下土壤及含水層；因為本研究之主要目的為分析 NTA 在一般性地下環境之分佈及濃度。

5. 基於上述原因，乃變動模式中參數之使用範圍，計算出 NTA 在地下水中之可能之濃度範圍，以較客觀地提供污染管制之參考。並且可知道各參數對模式結果之影響度（敏感度分析）。

6. 由本研究之結果，顯示 NTA 在使用地下水地區，其地下水中之 NTA 之平均濃度最高為 0.34 ppm。

七、誌 謝

本研究曾經於民國71年12月12日，在臺中國立中興大學舉行之中國農業工程學會71年度年會之學

術演講中作簡要介紹，會後臺大農工系王如意教授及行政院農委會溫理仁副處長鼓勵作者將此研究發表，由於作者之疏懶，至今才將此文完成，在此感謝王教授及溫副處長。也向作者以前任職之美國馬里蘭州 General Software Corporation 的同事 Jon Chen 及 Jim Pilotte 致謝，謝謝他們的合作。另外由於美國環境保護署之 Office of Pesticides and Toxic Substances 的 Annette Nold 許多寶貴資料、意見，才能使得本研究順利完成。

八、參考文獻

1. Javandel, I., C. Doughty, and C-F. Tsang, *Groundwater Transport: Handbook of Mathematical Models*, American Geophysical Union, Washington, D. C., 1984.
2. Tiedje, J. M. and B. B. Mason. "Biodegradation of Nitriacetate (NTA) in Soils," *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, pp.278-283, 1974.
3. Hrubec, J. and M. van Delft, "Behaviour of Nitritotriacetic Acid during Groudwater Recharge," *Water Research*, Vol.15, pp.121-128, 1981.
4. Kuo, J. T., J. Pilotte, and J. Chen, "NTA Assessment Modeling Support," Draft Report, Prepared for U.S. EPA, Office of Pesticides and Toxic Substances, Exposure Evaluation Division, General Software Corporation, Landover, Maryland, August, 1982.
5. Kuo, J. T., "The Use of Hydrodynamic Modeling for Water Quality Analysis in Complex Natural Water Systems," *Proceedings of the 4th Congress of Asian and Pacific Regional Division, International Association for Hydraulic Research*, Chiang Mai, Thailand, pp.1663-1678, September 11-13, 1984.
6. Freeze, R. A. and J. A. Cherry, *Groundwater*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1979.
7. Cleary, R. W., D. W. Miller, and G. F. Pinder, "Groudwater Pollution and Hydrology," Short Course Notes, Princeton University, 1980.
8. Bachmat. Y., J. Bredehoeff, B. Andrews, D. Holtz, and S. Sebastian, *Groundwater Management: the Use of Numerical Models*,

- American Geophysical Union, Washington, D. C., 1980.
9. Bonazountas, M. and J. M. Wagner, "SESOL-A Seasonal Soil Compartment Model," Prepared for U.S. EPA, Arthur D. Little, Inc., Boston, Mass., December 1981.
 10. Eagleson, P.S., "Climate, Soil and Vegetation (1-7)," *Water Resources Research*, Vol.14, No.5, pp.705-776, 1978.
 11. Yeh, G.T., "AT123D: Analytical Transient One-, Two-, and Three-Dimensional Simulation of Waste Transport in the Aquifer System," ORNL-5602, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN., 1981.
 12. Department of Health and Mental Hygiene, State of Maryland, Title 10, Subtitle 17: Sanitation, Chapter 02: Individual Water Supply and Sewage Disposal Systems for Homes and Other Establishments in the Counties of Maryland Where Public Water Supply and Sewage Systems Are Not Available.
 13. Metcalf & Eddy, Inc., *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw-Hill Book Co., 2nd Edition, 1979.
 14. Klein, S.A., "NTA Removal in Septic Tank and Oxidation Pond Systems" *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 46 (1), 1974.
 15. 郭振泰、蔣本基, "自然水體中毒性物質傳佈之數學模式", 第八屆廢水處理技術研討會論文集, 第565~579頁, 臺大環境工程研究所, 民國72年9月。

表1 SESOIL 模式採用之參數值

1. 模擬期間: 採用月模擬共計算10年
 2. 平均降雨量: 8.5cm/月*
 3. 土壤分層: (a) 分為二層(Level 2): 上層1m, 下層4m; 或者
上層2m, 下層3m
(b) 分為三層(Level 3): 上層0.5m, 中層0.5m,
下層4m; 或者上層0.5m,
中層1m, 下層3.5m
 4. 土壤特性: (a) 土壤密度: 1.32gm/cm³
(b) disconnectedness index=4.0
(c) 孔隙率: 0.35
(d) 土壤滲透率: 7.15×10⁻⁹cm² (containing loam and silt), 1.44×10⁻⁸cm² (sandy loam to loamy sand), 5.32×10⁻⁸cm² (sandy soil) (共計三種土壤)
 5. NTA 之化學特性: (a) 溶解度: 1.00mg/l
(b) 吸附係數: 6.3 [(μg/gm)/(μg/ml)] [14]
(c) 亨利係數(Henry's constant): 0.0**
(d) 分子重: 191~257gm/mole
(e) 在有氧層之分解速率: 0.11day⁻¹(t_{1/2}=6.3days);
0.16day⁻¹(t_{1/2}=4.3days);
0.22day⁻¹(t_{1/2}=3.1days)
(f) 下層之分解速率: 0day⁻¹(t_{1/2}=∞);
0.00019day⁻¹(t_{1/2}=10yrs);
0.00038day⁻¹(t_{1/2}=5yrs);
0.0019day⁻¹(t_{1/2}=1yr)
- * 麻州 (Mass) 情形 ** 因為NTA的高溶解度及低蒸氣壓 *** t_{1/2}為半衰期

表2 AT123D 模式採用之參數值

1. 模擬時間: 136年*
 2. 地表含水層厚度: 50m
 3. 水力坡度 (hydraulic gradient)=0.05
 4. 分佈係數 (distribution coefficient): 0.0031m³/kg=3.1(μg/gm)/(μg/ml)**
 5. 孔隙率: 0.35
 6. 全密度 (bulk density): 1,320kg/m³(1.32gm/cm³)
 7. 延散度(dispersivity)[11]: (a) 縱方向: 30m
(b) 橫、垂直方向: 5m
 8. NTA 消失率: 0hr⁻¹(t_{1/2}=∞), 7.92×10⁻⁶hr⁻¹(t_{1/2}=10yr),
1.58×10⁻⁵hr⁻¹(t_{1/2}=5yr),
7.92×10⁻⁵hr⁻¹(t_{1/2}=1yr)
- * 依照模擬範圍、水力傳導係數、水力坡降而定 **SESOIL所採用值之一半