

軍事營區土壤及地下水中潛在新興污染物之初探

高振棋¹、劉志忠²、潘時正³

¹中興工程顧問股份有限公司 環境工程一部 工程師

²中興工程顧問股份有限公司 環境工程一部 計畫主任

³平成股份有限公司 總經理

摘要

「新興污染物」(emerging contaminants)可定義為任何人造或天然的化學物質或微生物，於環境中並無被常態性監測，但其卻有可能進入自然環境中及引起已知或可能不利於生態或人類健康之潛勢。新興污染物可能出現於各種不同場所及介質中，然目前國內軍事營區土壤及地下水污染調查尚屬起步階段，且營區數量眾多，但依國外經驗顯示，營區常出現國內土水法規尚未列管之新興污染物，且無建立標準檢測方法及管制值，但對環境及人類健康仍具有潛在風險。爰此，本文特蒐集國外資料，列舉出九類可能出現於軍事營區之新興污染物，包括爆炸性物質、過氯酸鹽、放射性核種、N-二甲基亞硝胺、二甲苯胺、三丁錫類、甲基第三丁基醚、1,4-二氧六環及鎢，並對這些污染物之特性進行初步概述，以期了解新興污染物之潛在風險，並有助於環保機關建立標準檢測方法及制定土水相關管理規定，進而降低未來軍事營區土水中新興污染物可能造成之環境或健康影響。

關鍵字：新興污染物、軍事營區、土壤、地下水

一、前言

依據美國地質調查所(USGS)所下的定義，所謂「新興污染物」(emerging contaminants)為任何人造或天然的化學物質或微生物，於環境中並未被常態性監測，但有可能進入自然環境中，並引起已知或可能不利於生態或人類健康之潛勢。在有些情況下，由於新興污染物所對應檢測技術尚未建立，已釋出到自然環境中一段時

間之新興化學污染物或微生物可能都無法被發現。另外，新開發的化學物質、改變用途之合成物，以及已存在於環境中之廢棄化學品，都可能成為新興污染物之來源(<http://toxics.usgs.gov/regional/emc>)。

簡單來說，新興污染物可能為潛在有毒物質，但卻不太能了解其影響或存在，這主要是因新的污染物才正開始散佈到環境中或受到過去既定污染物之已知環境宿命與影響之限制，因此目前這些新興污染

物對環境長期影響之相關知識及規定，仍有很大努力空間。在美國亦僅列管少數污染物，這些被認定為「優先污染物」(priority pollutants)，然而更多來自於未列管污染物之潛在風險及現代科學技術進步，使人們開始意識到及了解相關問題。

由以上可知，新興污染物可能出現於各種不同場所及介質中，在歐美國家尤以軍事營區場址之新興污染物種類眾多。至於目前國內軍事營區土壤及地下水污染調查尚屬起步階段，且營區數量眾多，而依據國外經驗顯示，軍事營區常出現國內土水法規尚未列管之新興污染物，雖然目前尚未建立標準檢測方法及管制標準，但對環境及人類健康仍具有潛在風險。爰此，本文針對國外文獻中軍事營區土壤及地下水中潛在新興污染物進行初步探討。

二、國外軍事營區土壤及地下水中新興污染物之概述

國外軍事營區土壤及地下水污染之調查與整治案例，由蒐集之相關資料顯示，主要以美國及歐洲地區為主，其中以美國針對軍事設施，有較完整污染物類型、污染調查及相關管制措施，而歐洲依2005年5月歐盟環境署(EEA)之調查顯示，在歐洲前軍事場址(former military sites)進行污染調查之國家不多，愛沙尼亞、立陶宛、挪威等國，其軍事場址佔污染場址數量比例較多。依據Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR)及USEPA/NPL彙整之場址案例，篩選出美國各類型軍事營區中，國內土水法規尚未列管之土壤及地下水污染物與污染來源，如表1所示，由表可知，

營區土壤中污染物較可常見爆炸性物質、過氯酸鹽及放射性物質，營區地下水中污染物則為爆炸性物質、過氯酸鹽及MTBE，其中又以爆炸性物質於大部分類型營區皆可發現其存在，污染來源依照各營區作業特性而有所不同，但多與洩漏及廢液處置方式相關。另本文特彙整表1與其他國外資料，列舉出九種新興污染物及其營區可能出現作業場所、可能危害與國外部份場址濃度，如表2所示，由表可知，這些污染物目前國內土水法規雖尚未納入列管，但其對環境及人類健康仍具有潛在風險。這九種新興污染物之特性詳述如下：

1. 爆炸性物質(explosives)

爆炸性物質包括三硝基甲苯(TNT)、二硝基甲苯(DNT)、三硝基苯(TNB)、二硝基苯(DNB)、環四甲基四硝酸(HMX)、Hexogen(RDX)、NG(nitro glycerine)等，圖1為部份爆炸性物質化學結構式。若人類長期暴露於含該污染物環境中，可能造成貧血、損壞肝臟、可能致癌、遺傳缺陷及免疫力受損等影響。爆炸性物質大多發現於兵工廠，污染來源主要為廢水系統洩漏以及廢火藥焚燒貯坑等。目前國外多以健康風險參考處理技術效能訂定整治目標，部份案例如下：

1. Umatilla Army Depot, Hermiston, Oregon: TNT+RDX < 30 mg/kg (soil)。
2. Former Nebraska Ordnance Plant, Mead, Nebraska : TNT < 57 mg/kg; DNT < 2.5 mg/kg (soil and fly ash)。
3. Joliet Army Ammunition Plant, Joliet, Illinois : TNT < 57 mg/kg (soil)。

表 1 美國軍事營區土壤及地下水案例

類型	營區名稱	地點	土壤污染	地下水污染	土壤污染來源	地下水污染來源
兵工廠	Alabama Army Ammunition Plant	Alabama	TNB、DNB、TNT、DNT、metals、tetryl	TNB、DNB、TNT、DNT、metals、tetryl	火藥製程、運送、包裝過程	火藥製程、運送、包裝過程
	Former Weldon Spring Ordnance Works	Missouri	TNT、DNT、Pb、PCBs、PAHs、石棉	-	清洗水或廢水排放溢流，露天焚燒火藥	-
	Joliet Army Ammunition Plant (Load-Assembly-Packing Area)	Illinois	TNT、DNT、TNB、RDX、HMX	-	火藥製程廢水流出	-
	Joliet Army Ammunition Plant (Manufacturing Area)	Illinois	-	TNT、DNT、TNB、RDX、HMX	-	廢水
	Lake City Army Ammunition Plant (Northwest Lagoon)	Missouri	VOCs、various explosives、perchlorates、lead、arsenic、chromium	VOCs、various explosives、perchlorates、lead、arsenic、chromium	廢棄物不當處理	廢棄物不當處理
	Milan Army Ammunition Plant	Tennessee	-	TNT、RDX、HMX、TNB、DNT	-	廢水渠道
	Nebraska Ordnance Plant	Nebraska	-	TNT、RDX、TNB、DNT、DNB、HMX	-	清洗廢水、火藥焚燒
	Pantex Plant	Texas	耗弱鈾	-	武器射擊場	-
	Tonapah Test Range	Nevada	銻	-	武器測試場	-
空軍基地	Naval Base Ventura County	California	-	BTEX、MTBE、TBA	-	地下儲槽
	Port Hueneme	California	-	MTBE、TBA	-	汽油輸送系統
	Vandenberg AFB	California	BTEX	MTBE	地下儲槽滲漏	汽油儲槽洩漏

資料來源：FRTR; USEPA/NPL.

表 1 美國軍事營區土壤及地下水案例(續)

類型	營區名稱	地點	土壤污染	地下水污染	土壤污染來源	地下水污染來源
軍營補給站	Umatilla Army Depot (Lagoons)	Oregon	TNT、RDX、HMX	TNT、RDX、HMX	貯坑	地表貯放，污水塘
海軍航空站	Moffett Naval Air Station	California	-	TNT、RDX、HMX、TNB、DNT	-	廢水渠道
其他	Los Alamos National Laboratory	New Mexico	鈾(天然及耗弱)	-	核子武器製造	-
	Weldon Spring Former Army Ordnance Works	Missouri	TNT、DNT、Pb、PCBs、PAHs、石棉	-	清洗水或廢水排放溢流，露天焚燒火藥	-
	Weldon Spring Quarry/Plant/Pits (Usdoe/Army)	Missouri	-	Pb、TNT、DNT、PAHs	-	廢水排放、溢出及洩漏，火藥焚燒
	West Virginia Ordnance (USARMY)	West Virginia	放射性物質、TNT、DNT	放射性物質、TNT、DNT	操作和運送過程洩漏、不當存放和處置	操作和運送過程洩漏、不當存放和處置

資料來源：FRTR; USEPA/NPL.

表 2 軍事營區潛在新興污染物資料彙整

種類	可能出現場所	可能危害	濃度(國外部份案例)
過氯酸鹽 (perchlorate)	1.兵工廠(含研發及測試單位) 2.飛彈及火箭燃料系統	阻礙甲狀腺吸收碘化物及可能減少甲狀腺之荷爾蒙產生	土壤(mg/kg) 6.7 - 4,200
			地下水(mg/L) 0.225 - 600
甲基第三丁基醚 (methyl tert-butyl ether, MTBE)	油料儲存、配送及補給設施	可能人類致癌物	地下水(mg/L) 0.37 - 1,000
爆炸性物質 (explosives)	1.兵工廠(含研發及測試單位) 2.靶場、火炮射擊場、炸射場 3.廢彈拆解處理廠	1.肝腫瘤 2.可能人類致癌物 3.可能損害神經及免疫系統	土壤(mg/kg) TNT : 146 - 510,632 DNT : 360 - 7,300 RDX : 22 - 5,293 HMX : 30 - 739 TNB : 48 - 360
			地下水(mg/L) TNT : 1,250 - 4,440 RDX : 1,770 - 4,240 HMX : 87 - 110
二甲苯胺 (xylidine)	1.兵工廠(含研發及測試單位) 2.飛彈及火箭燃料系統	可能人類致癌物	地下水(mg/L) 210
N-二甲基亞硝胺 (N-nitrosodi-methylamine, NDMA)	1.兵工廠(含研發及測試單位) 2.飛彈及火箭燃料系統	1.肝臟損害 2.疑似人類致癌物	地下水(mg/L) 0.2
三丁錫類 (tributyltin, TBT)	海軍船塢設施	影響有殼水生動物之內分泌及性別發展	底泥(mg/kg) 18,000 - 22,000
放射性核種 (radionuclides)	兵工廠(含研發及測試單位)	1.可能引起腎毒性 2.可能引起癌症	土壤(pCi/g) 耗弱鈾 : 74 - 4,100 鈾 : 1,100 鈾 137 : 45 - 348
			地下水(mg/L) 鈾 : 1.7 - 16
1,4-二氧六環 (1,4 dioxane)	化學儲槽及保修廠	可能人類致癌物	地下水(µg/L) 4.6 - 7,300
鎢 (tungsten)	靶場、火炮射擊場、炸射場	1.肺相關疾病 2.血液變化	土壤(mg/L) 7,600 地下水(µg/L) 560

資料來源：Craig et al., 1995; Eschenbach et al.; FRTR; ITRC, 2008; Jennings, 2009; Reinik et al., 2001; USEPA, 1999; USEPA, 2004; USEPA, 2006; USEPA, 2008a; USEPA, 2008b; USEPA, 2008c; USEPA, 2008d.

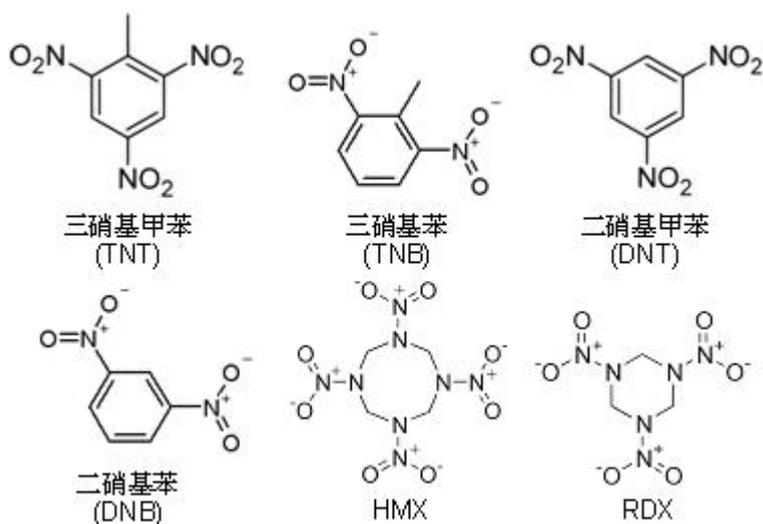


圖1 部分爆炸性物質化學結構式

2. 過氯酸鹽(perchlorate)

過氯酸鹽來自於天然產生與人工製造，其過去常被使用於商業應用上，如有機物合成、動物飼料添加物、爆炸物、煙火製造、火箭推進器和除草劑等。過氯酸鹽可分為過氯酸銨、過氯酸鉀及過氯酸鈉，其中過氯酸銨是固態火箭燃料成分之一。過氯酸鹽可能阻礙人類甲狀腺吸收碘化物，但不會存於人體中。在許多軍事基地中，廢棄火箭推進器及砲彈都將造成過氯酸鹽污染。

在1998年間，Kerr McGee洩漏大量過氯酸鹽至Las Vegas Wash，並進入Lake Mead及Colorado River (ITRC, 2008)。2005年美國EPA建議過氯酸鹽之飲用水當量濃度(DWEL)為24.5 µg/L (USEPA, 2008a)。

3. 放射性核種(radionuclides)

放射性核種包括鈾(235U, 238U)、鎳(99Tc)、鈾(Pu)等，較常於土壤中發現。人類長期暴露於含有高濃度放射性核種之飲

用水，可能會引起癌症，而暴露於含鈾污染之飲用水，可能會引起腎毒性。放射性核種大多發現於核子武器製造廠及武器射擊場，污染來源主要為核子武器測試及含此污染物廢棄物等，而該廢棄物大多來自於採礦活動，高放射性廠址及反應爐所排放之廢水等。目前美國EPA建議飲用水中鈾標準濃度為30 µg/L (USEPA, 2009)。

4. N-二甲基亞硝胺(N-nitrosodi-methylamine, NDMA)

NDMA是一種半揮發性有機物，具有高毒性及疑似致癌物，不具生物累積性。NDMA主要來自於工業生產的副產品或許多製程之廢棄物，且作為火箭燃料之合成物，另某些水處理過程中亦可能產生NDMA。最早於1998~1999年間美國加州許多製造火箭燃料地區，於地下水中發現NDMA。

受到NDMA污染的飲用水會特別受到重視，主要是因其在微小濃度下就可能有

危害性，且具不易檢測出及不易移除之特性。另外NDMA亦不易生物降解、吸附或揮發；不能經由活性碳去除及在土壤中容易流佈等特性(Mitch et al., 2004)。目前美國EPA建議飲用水中NDMA最大容許值為7 ng/L (Przemyslaw et al., 2005)。

5. 二甲苯胺(xylidine)

二甲苯胺有6種同分異構物，大部分用來生產色素、染料、不同農藥用品、藥物及其他化學品等，亦為飛彈燃料的成分之一。二甲苯胺已被發現經由吸入或皮膚接觸，當其濃度達2 ppm時即具有毒性，且2,4二甲苯胺為一種致癌物質。

前蘇聯飛彈基地內因洩露含二甲苯胺之飛彈燃料，常可發現地下水受其污染，在Keila-Joe地區地下水中二甲苯胺污染濃度為210 mg/L，另在一些過去軍事基地如Barta、Tasi與West Latvia亦發現地下水受其污染(Reinik et al., 2001)。而利用粒狀活性炭吸附二甲苯胺為其中一種去除方法。

6. 三丁錫類(tributyltin, TBT)

TBT主要為船舶外殼油漆添加物，除非與氧結合，否則其本身是不穩定的，而TBT化合物之一就是三丁基氧化錫(tributyltin oxide, TBTO)。TBT不太溶於水，但易與底泥結合，而TBT化合物被認為是有毒化學品，對於人類及環境皆有負面影響，尤其對水生環境影響甚鉅。最常見例子為因船舶油漆之TBT滲出，對於水生生物引起不可逆之傷害，另過度暴露於含TBTO環境中，可能影響眼、肺、皮膚、免疫系統與消化系統。

美國境內數個區域常可發現TBT存在，

如東海岸之TBT達800 ng/L，五大湖之TBT為20~840 ng/L，聖地牙哥海灣之TBT更高達1,000 ng/L。美國法律目前限制尺寸小於65英尺非鋁船隻使用TBT。

7. 甲基第三丁基醚(methyl tert-butyl ether, MTBE)

MTBE主要作為提高汽油辛烷值的成分之一，可以增加汽油的辛烷值，而且化學性質穩定。添加MTBE的汽油還能改善汽車的行車性能，降低尾氣中一氧化碳的含量。現在約有95 %的MTBE用作辛烷值提高劑和汽油中含氧劑。MTBE易與水融合，可滲入土壤，破壞地下水質，被認為是一種可能污染物。

MTBE主要經由皮膚或呼吸道吸收，動物於高濃度MTBE中會致癌。1996年間於美國Santa Monica市部分地區首次發現飲用水受到MTBE污染，使得50 %的供水系統關閉，紐約州已簽署法案，規定於2004年1月起禁止使用MTBE，2010年將全面禁用MTBE。美國EPA建議飲用水中MTBE濃度為20~40 µg/L (USEPA, 1998)。

8. 1,4-二氧六環(1,4 dioxane)

1,4 dioxane為水溶性人造工業化學物質，高溫高壓下極不穩定，若暴露於光或空氣中，恐有爆炸之虞。1,4 dioxane主要作為含氯溶劑如1,1,1-三氯乙烷(1,1,1-trichloroethane, TCA)之穩定劑，且很多產品中可發現其蹤跡，包括油漆清除劑、染料、潤滑油、亮光漆及臘，同時也是聚對苯二甲二乙酯(polyethylene terephthalate, PET)生產過程中副產品。

一般來說，溶劑工廠與PET製造工廠

常可發現1,4 dioxane存在，而美國國家優先名單(national priorities list, NPL)之1,662個場址中，雖僅有27個場址確認其存在，惟其餘場址主要由於調查時並無分析1,4 dioxane項目，因此仍有存在之可能性。一旦發生1,4 dioxane污染，因其不易受到土壤顆粒之吸附影響，將可快速進入地下水中，而易散佈到其他區域，另於表面水體中不易揮發，且不具生物累積性。若暴露於含有1,4 dioxane環境中，將使眼、鼻、喉及肺受到刺激，並可能造成暈眩、頭痛及厭食現象，現已確定為可能人類致癌物。1,4 dioxane目前於美國並無飲用水標準，且各州之清理標準亦有所不同，對於飲用水或地下水而言，範圍為3到85 $\mu\text{g/L}$ (USEPA, 2008c)。

9. 鎢(tungsten)

鎢是一種天然產生之元素，常存在於礦物或其他化合物中，其中鎢錳鐵礦($[\text{FeMn}]\text{WO}_4$)及鎢酸鈣礦(CaWO_4)為兩種含有鎢之常見礦物。鎢礦主要用來生產碳化鎢與鎢合金，可用於一般焊接、金屬切割及製造鑽探設備，而鎢金屬可生產鎢絲燈、X-ray管、染料及布料。美國國防部於1999年開始使用鎢取代鉛，作為製造子彈與其他彈藥之原料。

使用鎢之工廠與使用鎢製彈頭之軍事營區中，鎢已為一種常見污染物，目前美國國家優先名單(national priorities list, NPL)中，已有6個場址偵測其存在。過去研究指出鎢能穩定存在土壤中，且不易溶於水中，但最近研究發現提高場址土壤中pH值，將降低鎢之吸附係數，而增加其溶解性，使其可快速溶出並進入地下水

面。2006年於美國Massachusetts Military Reservation (MMR)使用鎢尼龍子彈(tungsten nylon bullet)之小型靶場中，發現土壤及地下水中鎢含量皆超過基準值，這使得鎢之環境穩定性受到質疑，因此該地區已禁止使用該類型子彈。

鎢可能暴露途徑包含吸入、攝取及皮膚與眼睛接觸，並影響眼睛、皮膚、呼吸系統及血液，將使眼睛、皮膚及喉嚨受到刺激、及引起肺相關疾病、食慾不佳、噁心、咳嗽及血液變化等現象，但鎢尚未被認定為致癌物質。鎢目前於美國並無飲用水標準，而職業安全及健康機構(The Occupational Safety and Health Administration, OSHA)建議建築及造船行業人員暴露於含非水溶性鎢化合物環境之限值為5 mg/m^3 ，而暴露於含水溶性鎢化合物環境之限值為1 mg/m^3 (USEPA, 2008d)。

三、新興污染物整治技術

軍事營區特有之新興污染物與傳統土壤及地下水污染管制項目相較，吾人對其特性以及在環境中分佈情形，所知相對較少。對於軍事營區特有新興污染物的整治，大多先評估整治原理是否可行，再利用在其他近似污染物經驗較為豐富的既有整治技術，進行嘗試性之應用。整體而言，軍事營區新興污染物的整治技術發展，尚屬萌芽階段，以下謹就幾種軍事營區新興污染物的整治技術與應用經驗進行彙整：

1. 爆炸性物質整治(USEPA, 2005; USACE, 2007)

爆炸性物質為軍事營區特有之新興污

染物，依據實場經驗，以TNT、RDX與HMX三種爆炸性物質被發現機率最高。對於受爆炸性物質污染之土壤，可供選擇之整治技術包括：

- (1)生物復育法(bioremediation)，如自然衰減法(monitored natural attenuation, MNA)、堆肥法(composting)、生物泥漿處理法(soil slurry biotreatment)、現地生物復育法。
- (2)土壤清洗法(soil washing)。
- (3)溼式氧化法(wet air oxidation)，尤其處理RDX效果最佳，但處理TNT時可能產生有害副產物，需特別注意。
- (4)低溫熱脫附(low-temperature thermal desorption)。
- (5)植物復育法(phytoremediation)。

2. 過氯酸鹽污染整治(ITRC, 2008)

過氯酸鹽之污染場址，針對受污染地下水或土壤可考慮採用現地或離場處理，而不論地下水或土壤之處理，現行整治技術主要均為生物復育法。

過氯酸鹽之生物復育，主要為利用厭氧性之過氯酸根還原菌，將過氯酸根逐步還原成氯離子及氧氣。前述過氯酸根還原菌，常見之菌屬包括*Dechloromonas*與*Azospira*，在厭氧環境中以過氯酸根及其中間產物(氯酸根等)作為電子接收者，以進行代謝，其還原反應各階段產物如下：
過氯酸根(ClO_4^-)→氯酸根(ClO_3^-)→亞氯酸根(ClO_2^-)→ $\text{Cl}+\text{O}_2$ (最終產物)

依據研究顯示，過氯酸根還原菌在自然界屬於普遍存在之菌種，如果場址為厭

氧環境且有適當之基質(substrate)，過氯酸根之還原反應將可自然發生。但在好氧狀態或缺乏足夠電子供給者(即基質)之情況下，則需注入適當之基質，使環境轉變為厭氧狀態，並促進過氯酸根還原菌之活性，使過氯酸根之還原反應得以發生。目前在實場中曾使用之基質種類包括乳酸鹽、檸檬酸鹽、油酸鹽、乙醇、玉米糖漿、糖蜜、植物油(或乳化植物油)等，此外商品化之釋氫劑(如HRC™)也有同樣效果。

3. NDMA整治(Zhou et al., 2009)

NDMA在自然環境中之生物降解，其過程可能十分緩慢。但在某場址的調查結果顯示，地下水中NDMA總質量在7年內減少90%，由此可推測地下水之NDMA污染，可考慮採用自然衰減法。

4. 1,4 dioxane整治(USEPA, 2006)

1,4 dioxane易溶於水，因而會隨著地下水流快速移動，因此1,4 dioxane整治主要針對地下水進行處理。目前文獻中記載可能之整治方法包括：

- (1) 高級氧化法：須配合地下水抽出並進行離地處理，目前測試可行之程序包括UV- H_2O_2 以及 O_3 - H_2O_2 (HiPOx)。
- (2) 活性碳吸附：須配合地下水抽出並進行離地處理。
- (3) 生物復育：包括好氧降解與共代謝降解等模式，目前尚在研究中。

四、結語

軍事營區土壤及地下水中潛在新興污

染物除了危害環境及人類健康，亦具有影響軍事活動之潛在風險，如降低其影響而需改變目前軍事活動，增加環境管理費用及尋找其他替代化學品。除此之外，新興污染物亦須被廣泛地研究，因這些污染物之最終環境宿命及風險，以及伴隨而來操作與整治費用仍有很大不確定性。因此，希望藉由本文彙整國外軍事營區土壤及地下水新興污染物之相關研究，能有助於了解其潛在風險，以期環保機關能建立標準檢測方法及制定土水相關管理規定，進而大大降低未來軍事營區土水中新興污染物造成可能影響之不確定性。

五、參考文獻

- Craig, H.D., Sisk, W.E., Nelson, M.D., and Dana, W.H., 1995. Bioremediation of Explosives Contaminated Soils: a Status Review, Proceedings of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research.
- Eschenbach, A., Höhne, J., Söding, Z. and Luther, G., The Steam Stripping Process: A Remediation Technique for TBT- and PAH-Contaminated Dredged Sediments and Soils.
- FRTR (Federal Remediation Technologies Roundtable), 1995-2007. Abstracts of Remediation Case Studies, Vol.1-11.
- ITRC (Interstate Technology and Regulatory Council), 2008. Remediation Technologies for Perchlorate Contamination in Water and Soil.
- Jennings, L., 2009. Tungsten Investigation at MMR, PCT (Plume Cleanup Team) Meetings.
- Mitch, W.A., Sharp, J.O., Trussell, R.R., Valentine, R.L., Lisa Alvarez-Cohen and Sedlak, D.L., 2004. N-Nitrosodimethylamine (NDMA) as a Drinking Water Contaminant: A Review. Environmental Engineering Science. 20(5), 389-404.
- Andrzejewski, P., Kasprzyk-Hordern, B., and Nawrocki, J., 2005. The Hazard of N-nitrosodimethylamine (NDMA) Formation During Water Disinfection with Strong Oxidants. Seminar in Environmental Science and Technology: Evaluation of Alternative Water Treatment Systems for Obtaining Safe Water. 176(1-3), 37-45.
- Reinik, J., Viiraja, A. and Kallas, J., 2001. Xylidine-Polluted Groundwater Purification, Proc. Estonian Acad. Sci. Chem. 50(4), 205-216.
- USACE, 2007. Overview of Native Plant Species with Remediation Potential that Have Applicability to Land Rehabilitation Objectives. U.S. Army Corps of Engineers, Public Works Technical Bulletin No. 200-1-53.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). National Priorities List (NPL). www.epa.gov/superfund/sites/npl.
- USEPA, 1999. San Gabriel Valley Superfund Sites / Baldwin Park Operable Unit.
- USEPA, 2004. Technologies for Treating MTBE and Other Fuel Oxygenates. USEPA 542-R-04-009.

- USEPA, 2005. Handbook on the Management of Munitions Response Actions. USEPA 505-B-01-001.
- USEPA, 2006. Treatment Technologies for 1,4-Dioxane: Fundamentals and Field Applications. USEPA 542-R-06-009.
- USEPA, 2008a. Emerging Contaminant – Perchlorate. USEPA 505-F-07-003.
- USEPA, 2008b. Emerging Contaminant - N-Nitroso-dimethylamine (NDMA). USEPA 505-F-07-006.
- USEPA, 2008c. Emerging Contaminant – 1,4 Dioxane. USEPA 505-F-07-004.
- USEPA, 2008d. Emerging Contaminant – Tungsten. USEPA 505-F-07-005.
- USEPA, 2009. Nation Primary Drinking Water Standards. USEPA 816-F-09-004.
- USGS (U.S. Geological Survey). Emerging Contaminants in the Environment. <http://toxics.usgs.gov/regional/emc>.
- Zhou, Q., McCraven, S., Garcia, J., Gasca, M., Johnson, T.A., and Motzer, W.E., 2009. Field Evidence of Biodegradation of N-nitrosodimethylamine (NDMA) in Groundwater with Incidental and Active Recycled Water Recharge, Water Research, 43(3).

【作者簡介】



高振棋先生為中興大學環境工程學系學士，現職為中興工程顧問股份有限公司環境工程一部工程師，專長與研究興趣：土壤及地下水污染

調查評估與整治規劃、地下水污染整治。

電話：(02)27698388#10865

傳真：(02)87611589

電子信箱：chenchi@mail.sinotech.com.tw



劉志忠先生為中央大學環境工程所博士，現職為中興工程顧問股份有限公司環境工程一部計畫主任，專長與研究興趣：土壤及地下水污染調查評估與整

治規劃、污染模式推估模擬、現地化學氧化處理。

電話：(02)27698388#20855

傳真：(02)87611589

電子信箱：ccliu@mail.sinotech.com.tw



潘時正先生為中央大學環境工程所博士，現職為中興工程顧問股份有限公司環境工程一部計畫主任，並擔任平成股份有限公司總經理，專

長與研究興趣：土壤及地下水污染調查評估與整治規劃、界面活性劑應用、廢污水處理規劃設計。

電話：(02)27698388#20803

傳真：(02)87611589

電子信箱：span@mail.sinotech.com.tw