

國軍輕兵器靶場土壤重金屬污染防治設施規劃之研究

作者簡介



作者曾祥祐士官長，畢業於陸軍高中 95 年班、化校士高班 98-1 期、中原大學環境工程所，歷任射線偵檢士、化學戰劑偵檢士、區隊長，現任化生放核防護研究中心射線偵檢士官長。

提要

- 一、環境部已針對國軍高污染潛勢營區實施土壤污染調查，其中部分營區土壤調查出具油污及重金屬污染，依法已被公告並要求實施污染整治。
- 二、國軍各型輕兵器靶場因長期射擊練習使用，彈頭所含鉛及銅等重金屬殘留土壤中，自主調查檢測結果，靶場背彈牆之土壤，重金屬含量多已超過土壤污染管制標準。
- 三、被公告污染場址改善處理程序複雜，依法須提送整治計畫，並經核定後才能開始污染整治，最後經土壤污染檢驗合格後方能解管。而靶場為國軍戰備訓練所需重要訓場，若能透過污染防治設施有效控制污染物，待靶場廢棄不用或土地轉移時再執行污染整治作業。
- 四、國軍使用中之輕兵器靶場設置型式不同，運用圍堵結構、雨水截流處理及地下水監測等等方式，完善靶場污染防治設施，可將污染物管制於靶場內，達到污染物有效控管之目的。

關鍵字：重金屬、污染防治設施、土壤污染整治

前言

隨著國內經濟發展及社會進步，國人對各項環保議題益發重視，舉凡近年重視的 PM2.5 空氣污染、油庫漏油污染、廢棄物遭人亂傾倒、河川遭污染、土壤重金屬污染等等，一旦發生污染事件，輕則罰款，重則負責人遭判刑並須負責污染整治。

國防部每年皆辦理環保污染防治講習，並要求國軍各部隊在執行各項戰備演訓任務時，須遵循各項環保法規規定。然早年因環保管理觀念不足或發生天然災害，導致發生許多土壤污染情事。行政院環境保護部(以下簡稱環境部)於民國 95 年至

105 年間，依據土壤及地下水污染整治法，針對國軍具高風險污染營區，執行「軍事油槽設施土壤及地下水污染預防調查計畫」，全國各營區場址經由相關單位人員查證，至今已有 18 處營區被證實遭受油污、重金屬等污染，並被公告列為土壤污染整治營區。為了處理這樣龐大的重金屬污染，國防部每年須編列數億元，實施污染整治工作。以民國 107 年為例，年度編列高達 2 億元預算執行污染整治，不但耗費資源，亦影響國土環境永續利用與發展。另以金門碧山靶場為例，該場址被檢測出含有鉛(9,750mg/Kg)重金屬污染，從公告迄今整治共耗時長達 5 年，更耗費環保預算多達 9 百萬元。由此觀之，土壤污染整治所費不貲，單一場址整治經費便需百萬元，甚而數千萬，嚴重排擠其他國防預算項目支出，且亦須投入大量人力執行整治，故各部隊在執行各項戰備整備任務時，若能事先預防污染事件，則遠勝於後續污染整治。

針對環保污染問題，一旦被環境部稽查檢測並公告污染場址後，除了影響國軍形象外，仍須耗費高額整治經費。近年來，各軍司令部配合國防部政策，針對國軍油庫、靶場、保修廠庫等高土壤污染潛勢營區，實施自主土壤污染調查，期能早期發現土壤污染現況，並針對遭受污染土地實施自主管理。依目前調查結果，顯示國軍部分保修廠庫及輕兵器靶場具重金屬污染情形，其中輕兵器靶場只要使用過，重金屬鉛及銅檢測結果皆會超過污染管制標準；但國軍也不能因為土壤重金屬檢測超過標準，就因噎廢食而不執行射擊訓練。故本研究針對輕兵器靶場若能設置完善之污染防治設施，將潛在污染物限制在可控制範圍，既可符合環保規範又能滿足戰備訓練需求。

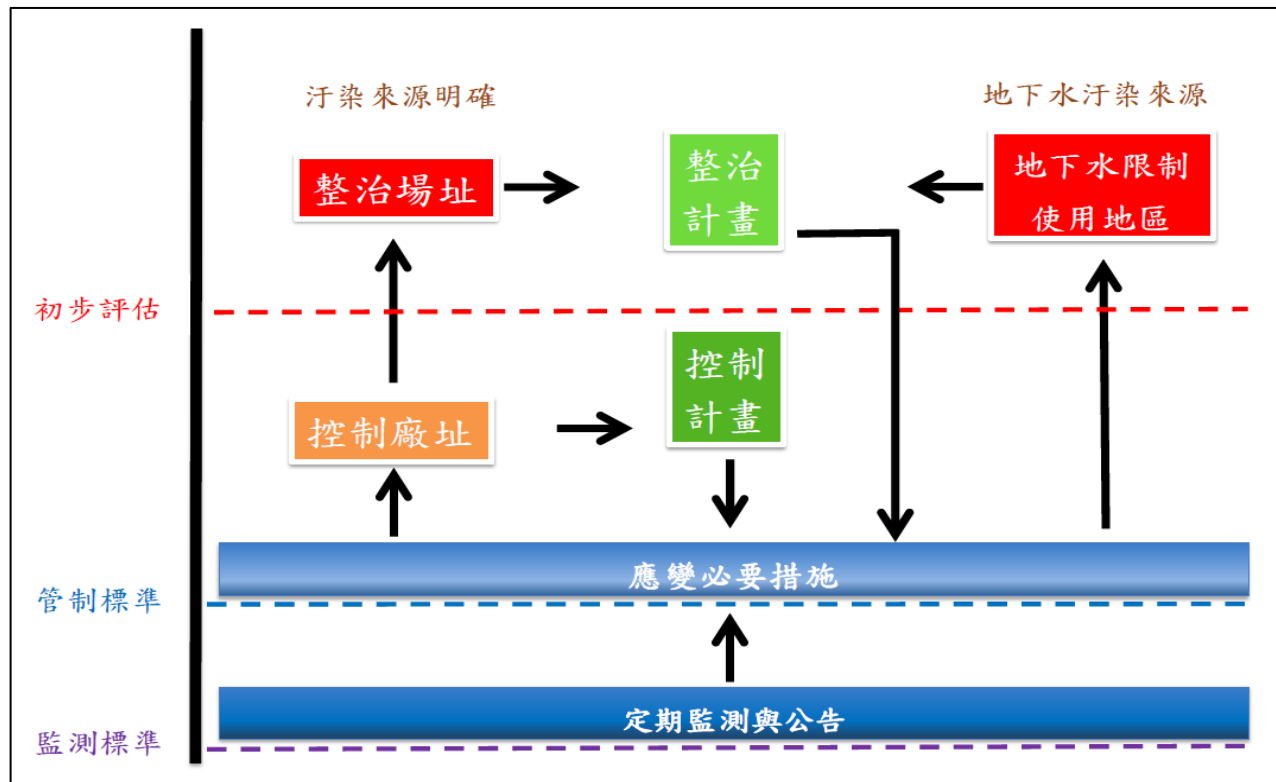
土壤污染法規探討

一、土壤及地下水污染整治法

我國土壤污染防治與管理係依環境部於民國 89 年頒布之「土壤及地下水污染整治法」，其第七條賦予主管機關可依實際需求對於單位污染狀況進行自主查證，若查證屬實發現污染情形，將被公告為控制場址，場址之污染責任相關人員若未依期限提出妥善整治計畫者，將處新臺幣一百萬元以上、五百萬元以下罰鍰，並限期

改善，否則將按次處罰，即便並非刻意造成汙染亦可處新臺幣十萬元以上、五十萬元以下罰鍰，汙染事件處理流程如圖 1 所示。我國軍某訓場曾遭惡意棄置廢棄物，被公告為甲級非法棄置場址，除遭處分外，後續場址整治經費更高達 1 億 3 千餘萬元，此案例值得我高度重視，避免類案肇生。

圖 1 汙染場址判斷與整治流程圖



資料來源：行政院環境保護部土壤及地下水汙染整治網，網址：<http://Sgw.moenv.gov.tw>，下載時間民國 112 年 10 月 04 日

二、國有不動產撥用要點

民國 75 年公佈之「國有財產撥用要點」¹第八點，申撥機關應執行土壤及地下水汙染情況調查，近年國軍因人力精簡及單位整併，釋出許多營區，依此作業規定，在土地移交過程發現許多營區有土壤及地下水汙染情形，如水湳機場因維修作業導致鉛、銅重金屬汙染，整治經費耗高達 2 億元。我軍輕兵器靶場靶場使用，已知彈

1.財政部國有財產署，國有財產撥用要點，第八點，https://www.fnp.gov.tw/Edict.php?page=RuleInfo&TER_ID=55&act=ArtAll，107 年 07 月 18 日

頭會產生重金屬汙染問題，未來在釋出前亦須完成汙染調查及整治，故現在須以環保汙染防治角度審視檢討相關設置及管理規範，避免將問題擴大。

三、陸軍訓練場地管理維護暨整(新)建作業實施規定

國防部 112 年 1 月訓練通報，全軍部隊執行「實彈化射擊訓練」每月實施射擊 1 次，約打 50 餘發。每季實施夜間、戰鬥射擊 1 次，約 60 於發。基地射擊訓練約 100 餘發；以今年全年合計，若三種全部實施可射擊近千發子彈。本軍訂有「陸軍訓練場地管理維護暨整(新)建作業實施規定」以執行各式訓練場管理維護，但因靶場使用頻繁，背彈牆內之彈頭數量眾多，其中針對靶場環保汙染防治措施為射擊後須由保管單位督導使用單位清理靶場環境，清除廢彈頭、彈殼及彈鏈，以防重金屬殘留。

國軍輕兵器靶場現況探討

依據作者自民國 106 年至今(112 年)進行靶場土壤汙染調查檢測結果顯示，靶場背彈牆附近採集土壤樣品，經分析後常有重金屬銅及重金屬鉛的殘留。鑑於國家環保政策，陸軍司令部下轄眾多靶場，在未來勢必成為土基會稽核單位。國軍現行輕兵器靶場依輕兵器射擊形式，區分露天式及擋板式靶場兩大類，以下針對此二種形式靶場設置之環保設施進行討論：

一、露天式

(一)組成

- 1.背彈牆：**露天式多為老舊輕兵器靶場，背彈牆底部由一般土壤組成，結構鬆散，由廢輪胎、砂包堆疊而成，兩旁與底部皆無水泥或其他堅硬材質，如圖2所示。
- 2.射擊線：**為平坦混凝土鋪面且無阻礙物草坪組成，人員須定期修整草坪高度，避免影響射擊練習的準確度，本區域並無阻絕設施，防止重金屬汙染擴散。

(二)雨水截流設施

目前國軍輕兵器靶場，針對雨水並未特別作截流及處理，僅是依訓場地形、環境將雨水自然排出，對於可能夾帶的重金屬污染物並無作適當處理。

(三)汙染管控

國軍為避免殘留彈頭汙染背彈牆土壤，於射擊練習完畢後，定期篩分、撿拾背彈牆表層土壤(0-15 公分)彈頭。土壤中之彈頭、破片再加上酸雨溶蝕，可能使彈頭當中的重金屬物質溶出於土壤層表面，再加上大雨沖刷，將土壤重金屬汙染物質滲透至土壤深處，甚而造成附近地下水遭受汙染，因此於各種靶場設置中，此種露天式背彈牆的汙染風險最高，容易造成重金屬汙染擴散。

圖 2 露天式輕兵器靶場



資料來源：國軍營區土壤汙染檢驗資料照(作者自行拍攝)。

二、擋板式

(一)組成

1.背彈牆：背彈牆兩側及上方皆用水泥框住背彈牆，表面以木片擋板固定於

水泥牆外表，以防止射擊練習時發生跳彈情形，可有效阻擋百分之90%以上的跳彈²，較傳統開放靶場的跳彈率大於26.76%來的安全有效率，雖然此設計原目的是為阻擋跳彈發生，但在環保污染防治觀點，卻也減少污染擴散的機會，如圖3所示。

2.射擊線：與露天式相同，本區域並無阻絕設施防止重金屬污染擴散，為本文探討重點。

(二)雨水截流設施

與露天式相同，本區域並無阻絕設施防止重金屬污染擴散，部分靶場排水設施若較為完善，雨水收集效果較佳，後續只要作適當處理即可。

(三)污染管控

擋板式背彈牆除可以將彈頭控制在靶場範圍，更可侷限污染位置，不至於使彈頭的污染物質毫無邊界的擴張，對於污染源的控制有相當程度的幫助，然就背彈牆中彈頭仍有可能因為經年累月暴露，導致彈頭氧化分解，吸附於土壤當中，且因背彈牆底部無隔絕設施而致使污染向下擴散。在人為管控部分，在靶場歲修或整修時，背彈牆之土壤若沒有妥善處理，則可能造成重金屬污染物擴散。

圖 3 擋板式輕兵器靶場



²曾幸義，〈如何改良遮板式靶場以增進射擊安全之研析〉《步兵季刊》，第237期，2010年8月11日。



資料來源：國軍營區土壤汙染檢驗資料照(作者自行拍攝)。

綜上所述，國軍輕兵器靶場當中，土壤重金屬汙染區域以背彈牆為主，且以鉛及銅的重金屬汙染最為嚴重，然而國軍現行做法僅在約 0–15 公分的土壤表面進行篩分，並以人力方式去除殘留彈頭、彈片等金屬物質，卻未考量背彈牆土質鬆軟，難以攀爬，不易徹底清除殘留彈頭，再加上背彈牆土堤多以砂包及廢輪胎的堆疊的方式，經過長時間射擊練習，砂包勢必破損，人員撿拾彈頭不易，管制措施效果不彰，進而造成汙染日益加劇。

靶場土壤重金屬汙染防治設施規劃

檢視國軍輕兵器靶場現況，要了解重金屬汙染可能擴散問題，應該從工程改善觀點著手，透過汙染防治工程達到汙染控制的目的，後續再藉由人為管制方式，達到相輔相成效果。汙染防治設施即參考環境部「封閉掩埋式之廢棄物處理場」構造³，參考相關汙染防治設施，規劃適合國軍輕兵器靶場之汙染防治設施。國軍現有兩種主要靶場形式設計，研議將背彈牆當中受重金屬汙染之土壤控制於靶場內，並防止因雨水或者其他人為因素導致土壤汙染擴散至地下水，並藉由監測井定期監測水中重金屬濃度，如此即為有效的土壤及地下水防治汙染方式。藉設置具汙染防治設施之靶場，對環境的傷害期許能夠降至最低，待靶場廢止或土地移轉時只須針對防制區內土壤進行整治即可，可減低整治經費及提高處理效率，以下即為針對各部

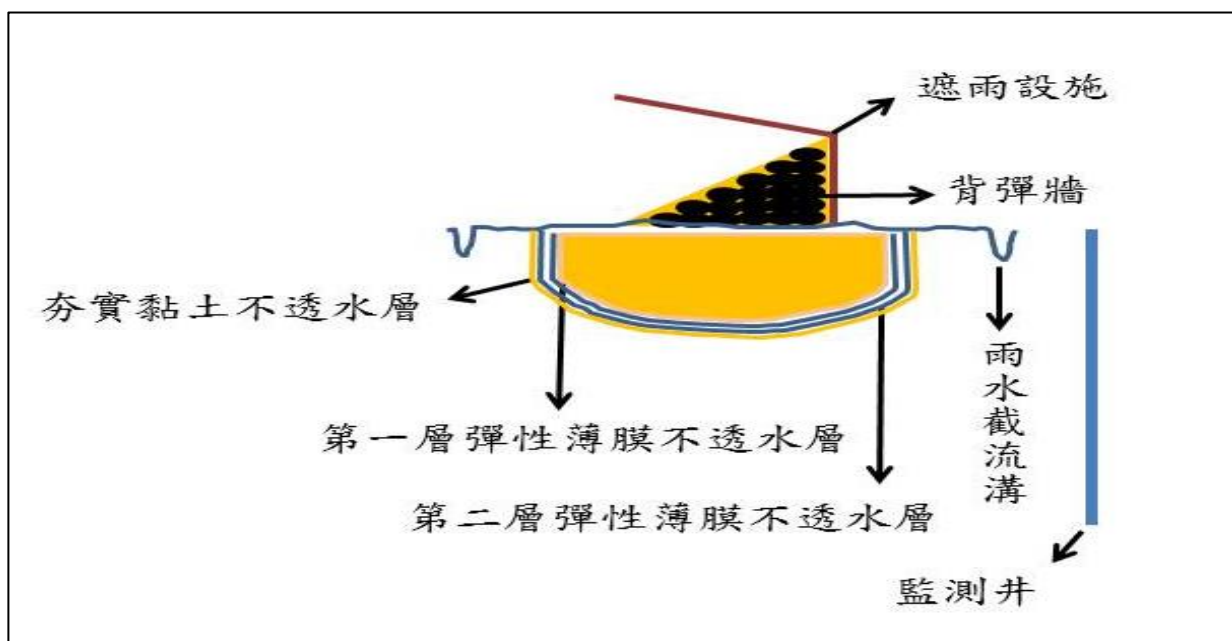
3 林志鴻、洪義昌、蘇奇英，〈封閉掩埋場之規劃、安全性評估及興建技術〉，行政院環境保護署編民國 112 年 1 月
第 120 頁

分的詳細介紹。

一、圍堵結構

為避免金屬彈頭因為射擊過程散落於靶場外，使得汙染範圍加大，圍堵結構的設計，便是將可能噴飛的彈頭侷限於靶場之內，將重金屬汙染源控制於背彈牆與靶溝當中，由上述兩種現有靶場設施可知，擋板式對於彈頭的掌控力優於露天式，然而本研究主要希望加強底下的汙染源⁴亦能夠控制在靶場當中，不至於汙染至地下水影響生態，相關設施知示意圖如圖 4 所示，此規劃以擋板式靶場設計為主，先將靶場表層土壤清除，在底層先以夯實黏土鋪設不透水層，為求謹慎建議鋪設雙層不透水層，以達隔水效果，並在上面填入乾淨的土壤，並設計雨水截流溝將多餘水分流出，並於陰井放置合成有機性離子交換樹脂吸附水中重金屬汙染物質，確實將汙染源控制於靶場當中，為確保圍堵效能，研究者於設計圖中設置監測井確保地下水不受重金屬汙染，落實防堵與監測效能，而露天式的背彈牆則是建議在靶場背彈牆鋪設不透水鋪面或水泥結構物。

圖4 靶場設置剖面圖



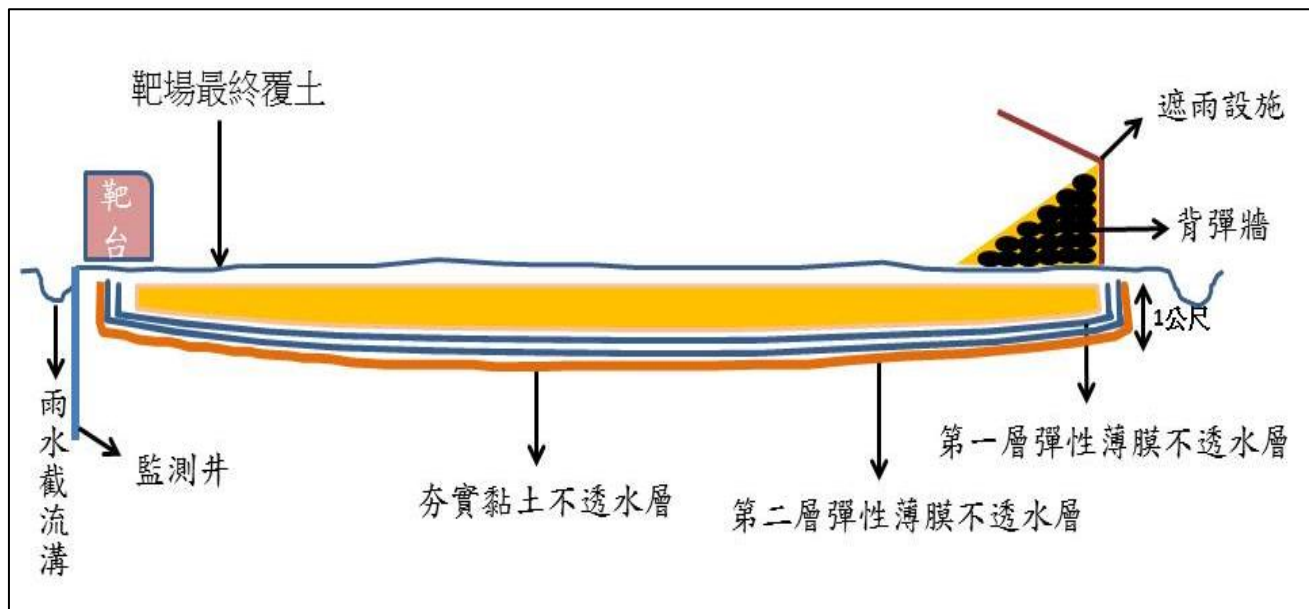
資料來源：作者自繪。

4 鄭仁雄，〈工廠如何以正確方式因應土壤及地下水汙染問題〉，setsg.ev.ncu.edu.tw/newsletter/epnews6-3-2.html

就經費而言，如預算充裕時可將露天式背彈牆全面改為遮板式靶場結構，以降低跳彈率產生的可能，並可將靶台至背彈牆的區域全面納入防治範圍，若經費無法進行靶場的全面改善時，則可針對靶溝至背彈牆面作不透水層鋪設及雨水截流等強化設施。

在經費允許的情況下，最高規格設置應將污染防治設施全面設置於靶場內，涵蓋背彈牆至靶台區間的範圍，透過圍堵方式將重金屬污染土壤限制於靶場當中，將範圍不只侷限於背彈牆與靶溝之間，而是能夠將防治設施延伸到整個靶場當中，土壤底層以雙層不透水層加強阻絕設施，可避免射擊線整體區域不會有雨水將污染物帶進地下水層中，待靶場廢棄或者是土地轉移⁵時，可以直接針對此塊區域實施污染調查，縮短細密調查污染時間，進而縮短整治工作時間，如圖 5 所示。

圖5 鋪設建議圖



資料來源：作者自繪。

二、添加土壤改良劑

依圍堵結構污染源可被控制於靶場當中，靶場的土壤改良也可提高對重金屬的控制性，已有研究指出在靶場當中施撒石灰等鹼性物質，藉由提高土壤酸鹼值的方

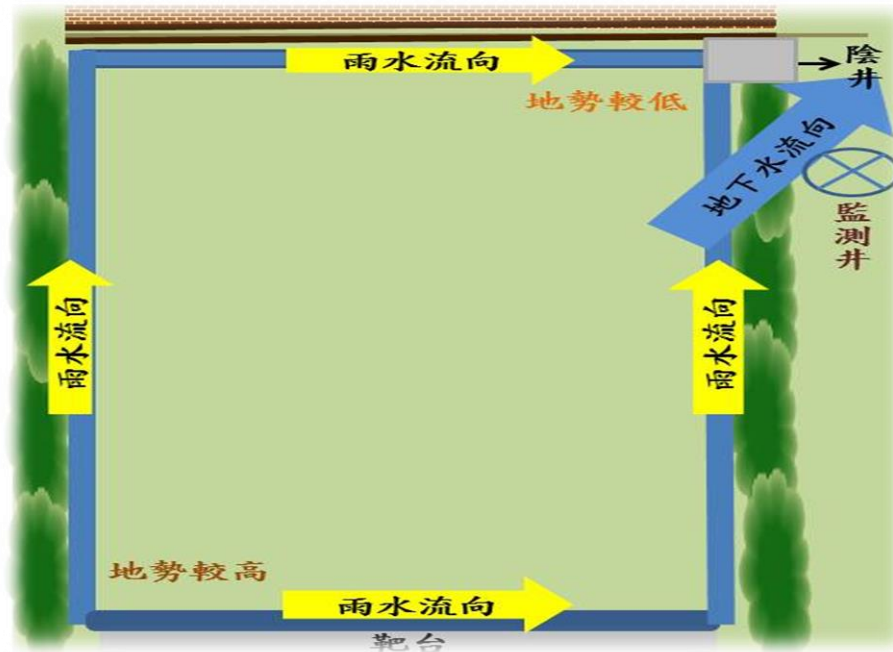
5 許盛春，〈國軍應區非都市土地釋出評估模式建立之研究〉《國防大學理工學院空間科學碩士班》，2009 年。

式，降低鉛在土壤中的移動性。除了石灰之外，亦可添加磷酸鹽，透過化學性吸附之方式，可固定土壤中的鉛，形成化合物，並可降低溶解度，進而減低鉛向下移動至地下含水層之風險。為落實土壤改良劑的使用，可將此類土壤改良劑施灑於擋彈坡與靶溝區域的土壤，經由研究估算結果，約每 1,000 平方公尺施以 7 至 9 公斤之磷酸鹽，即可有效控制土壤中鉛金屬物質之移動。

三、雨水截流設施

靶場中主要汙染物為鉛及銅等重金屬，在正常情況下金屬物質較不易移動，但汙染物經過氧化或酸雨侵洗後，就可能隨著雨水向外漫流，此時靶場外之土壤就可能遭到汙染，為避免雨水及地表逕流造成附近土壤危害⁶，規劃在靶場四周設置雨水截流設施，並導引水流至下游處，在下游處選一適當位置設置陰井，陰井內放置合成有機性離子交換樹脂，藉由樹脂對重金屬的吸附作用，將中金屬留下並排出雨水，確保流出靶場的水源不受重金屬物質汙染，如圖 6 所示。

圖6 靶場雨水截流設施及監測井示意圖



資料來源：作者自繪。

6 中國工業電器網，〈土壤汙染對人體健康的影響和危害〉

<http://www.google.com.tw/amp/s/read01.com/gn2dPy.amp>，2016 年 11 月 03 日

四、地下水監測

地下水監測是確保重金屬沒有滲透到地下水的重要手段，因靶場確有其運作之必要性，故為降低其對環境之衝擊，設置監測井並定期檢驗水質確認靶場土壤中的重金屬，是否影響地下水源，危及附近生態環境，故除了上述防治措施之外，亦須於場址外圍設置地下水監測井，設置位置須注意地下水流向，須於靶場下方處才能正確掌握污染源是否為靶場造成，另長期監控地下水檢驗數值亦可釐清污染變化，如圖 6 所示。

五、污染控管

藉由圍堵結構及雨水截流處理等污染防治措施已可有效控制污染源，後續的人為管制相對就比較簡單，只要固定更換合成有機性離子交換樹脂及定期檢驗地下水質即可，在「陸軍訓練場地管理維護暨整(新)建作業實施規定」中篩檢彈頭減低環保污染之作業，建議亦可省略以降低部隊工作負荷，相關業管承參在年度歲修或是土壤翻堆⁷時，須經污染土壤限制使用於靶場，避免與靶場以外無污染土壤混合，增加後續整治困難度。

結語

國軍輕兵器靶場為國軍重要訓練設施，訓練過程中難免造成局部土壤重金屬污染問題，若能有效管制污染物，避免污染擴散，訓練場使用就不會造成嚴重的環境污染問題，亦不會與現今環保法規相互牴觸，本研究參考環境污染預防相關技術，考量鉛及銅重金屬在環境中遷移特性，藉由提升土壤酸鹼值與化學性吸附方式，降低溶解度與金屬移動性，因應環境氣候當中所面臨的酸雨、土壤性質、地面水文、氣候、地下水位等因素，擬定圍堵結構、雨水截流處理、添加土壤改良劑、地下水監測等措施，可有效控制污染物質，避免其污染範圍擴散，後續若有新建靶場或現有靶場年度歲修時，可依建議之污染防治措施實施工程改善，確保污染物能有效控制，亦可降低污染整治所耗費的成本。

7.章日行，行政院環境保護署，〈應用粒徑篩選及植物復育整治重金屬鉛銅污染土壤〉《106 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案》，106 年 12 月。

參考文獻

一、書籍

- (一)行政院環境保護署，《土壤及地下水汙染整治雙年報》，中華民國93年4月。
- (二)行政院環境保護署，「廢棄物最終處置技術教材」《行政院環境保護署環境保護人員訓練所廢棄物清理專業技術人員訓練教材》，中華民國112年01月。
- (三)行政院環境保護署，《農地土壤重金屬調查與場址列管計畫》，2002年。
- (四)李雪梅、王祖傳、湯顯強、黃歲棵、趙慶香，〈重金屬汙染因子權重的確定及其在土壤環境質量評價中的應用〉《農業環境科學學報》，26(6)，2007年。
- (五)曾幸義，〈如何改良遮板式靶場以增進射擊安全之研析〉《步兵季刊》，第237期，2010年8月11日。
- (六)環境部，軍事場址土壤及地下水汙染調查評估及整治技術參考指引手冊。

二、論文

- (一)郭建利，〈重金屬離子吸附於螯合樹脂之動力行為模式的探討〉，1995年。
- (二)張尊國，〈台灣水田重金屬汙染潛勢分析〉《國立台灣大學生物環境系統工程學系論文》，2015年8月20日。
- (三)張鈞維，〈以淨水汙泥及鐵氧化物吸附劑去除水庫水體含磷脂研究〉《國立成功大學環境工程學系碩士論文》，2006年。

三、網路

- (一)陳呈芳，〈土壤重金屬汙染整治技術〉，中興工程顧問股份有限公司，2005年，檢索日期:2023年10月15日。