

出國報告（出國類別：考察）

雲南高風險土壤污染場址管理及 褐地開發利用交流與場址參訪

服務機關：行政院環境保護署土污基管會

姓名職稱：蔡惠珍環境技術師兼副組長

謝菊蕙環境技術師兼副組長

派赴國家：中國大陸

出國期間：107年12月19日至12月25日

報告日期：108年3月

出國考察報告

目 錄

	頁次
出國考察報告摘要.....	VI
壹、目的	1
貳、參訪行程.....	2
參、參訪結果	3
一、考察 PAH 污染場址調查及改善作業（12/19）	3
二、高風險場址及高背景土壤調查評估座談會（12/20）	5
三、考察汞污染場址土壤整治作業（12/21）	9
四、高背景土壤調查規劃工作會議（12/22）	12
五、土壤 PAH 污染場址調查評估與整治規劃座談會（12/23） ..	13
肆、心得與建議.....	15

公務出國報告簡表

出國計畫名稱：雲南高風險土壤污染場址管理及褐地開發利用交流與場址參訪

出國人姓名／職稱／服務單位

蔡惠珍／環境技術師兼副組長／行政院環境保護署土污基管會

謝菊蕙／環境技術師兼副組長／行政院環境保護署土污基管會

陳慎德／會員／社團法人臺灣土壤及地下水環境保護協會

賴允傑／會員／社團法人臺灣土壤及地下水環境保護協會

黃泰祥／會員／社團法人臺灣土壤及地下水環境保護協會

出國日期：107 年 12 月 19 日至 12 月 25 日

出國期間概況紀要：

參訪雲南省「土壤 PAH 污染場址調查及改善作業」及「北京建工土壤污染處理工程」等 2 處重點污染場址之改善作業，瞭解污染改善技術及風險管控方式。

參加「雲南高風險土壤污染場址管理及褐地開發」、「高背景值土壤環境調查與評估和安全利用項目」及「土壤 PAH 污染場址概況及土地利用規劃」等 3 場交流座談會，與產官學研代表共同檢視雲南省土壤環境重要課題。

活動日期	活動內容	活動地點
12/19 (三)	啟程，出發至中國大陸昆明市。考察土壤 PAH 污染場址調查及改善作業。	臺北-昆明市
12/20 (四)	參訪雲南省環科院，上午參加「雲南高風險土壤污染場址管理及褐地開發」、下午參加「高背景值土壤環境調查與評估和安全利用項目」交流座談會。	昆明市 (雲南省環科院)
12/21 (五)	考察雲南北京建工環境修復股份有限公司土壤污染處理工程。	昆明市 (安寧市)
12/22 (六)	雲南鹿阜高重金屬土壤農地分布區域農地生產管理，及農用地高背景試點項目介紹與工作開展規劃。	昆明市 (雲南省環科院)
12/23 (日)	參加「土壤 PAH 污染場址概況及土地利用規劃」交流座談會。	昆明市 (雲南省環科院)
12/24 (一)	自昆明市搭機至香港。	昆明市-香港
12/25 (二)	自香港搭機返回臺灣。	香港-臺北

行程成果評估與心得建議：

(一)成果

- 1、於雲南省環境科學研究院（下稱雲南環科院）進行之「雲南高風險土壤污染場址管理及褐地開發」交流座談，由該院郭書記俊梅主持，並由該院土壤環境保護研究中心和主任麗萍說明雲南省土壤污染整治計畫概況。土水協會會員代表則分享近年於臺灣執行之環境管理經驗及未來發展趨勢，包含臺灣於農地污染調查及污染查察成果、整合環境調查大數據資料應用於環境品質管理案例分享等。
- 2、於雲南環科院進行之「高背景值土壤環境調查與評估和安全利用項目」交流座談，由雲南省環境保護廳土壤環境管理處周波處長主持，說明該省環保業務中土壤環境領域之關切重點，其中以判識及劃分自然高背景重金屬農地範圍為首要項目，而近期將於麗江及石林地區試辦調查，後續擬訂土地管制及安全利用措施。土水協會會員代表則分享農地母質土壤之調查與行政管理案例。
- 3、雲南土壤 PAH(多環性芳香化合物) 污染場址，土壤中主要污染物包含 PAH 及苯等，表層土壤為紅黏土，地下水環境屬石灰岩地質，裂隙及優勢流增加污染傳輸之複雜性，污染整治不易。場址整治方式規劃採熱處理、風險及褐地開發併行，場址預計開發為物流基地，周圍正大興土木興建高速鐵路及高速公路，場址鄰近長水國際機場，具高度開發價值。
- 4、雲南雲天化集團旗下之控股公司採水銀燒碱法生產氯鹼，製程產生大量含汞鹽泥，造成土壤及地下水汞污染，由北京建工環境修復公司以現場離地熱脫附及離場固化掩埋方式處理，整治費用約新臺幣 7 億元。
- 5、雲南鹿阜自然背景土壤砷、鎘、鉻、銅、鎳、鉛等重金屬濃度達中國大陸 107 年修訂施行之土壤環境質量標準，雲南環科院說明土壤重金屬初步調查結果，土水協會人員共同討論自然背景判識及後續因應措施。
- 6、此次參訪行程均由臺灣土水協會成員會同，透過與各參訪地點現

場人員間之專業技術交流過程，除可學習到整治工程實務外，並利於臺灣專業技術的推廣。

(二)心得建議

- 1、雲南省工業污染場址於轉型再利用之設計階段即引進外部資源，加速場址之解列，且規劃整治與褐地開發併行，此概念尚未規範於中國大陸土壤污染相關法規中；相較我國土壤及地下水污染整治法雖已納入褐地開發規範，並推動整治與褐地再利用併行，然國內尚未有相關案例。後續仍應持續開展相關業務，成立輔導團，協助加速污染整治工作，以使褐地活化，減少對環境影響及民眾健康危害。
- 2、雲南省環境廳積極展開土壤環境治理工作，包含背景濃度較高農地區域劃定、作物安全生產管理措施等，均在起步階段，亟需仰賴國外技術協助。建議後續可提供我國東部及澎湖地區母質農地土壤之調查經驗及地球物理探勘技術，協助其處理自然背景重金屬濃度偏高之調查判識、石灰岩地質裂隙溶蝕造成地下環境污染複雜之調查及建立場址概念模型。

出國考察報告摘要

本案係社團法人臺灣土壤及地下水環境保護協會（下稱臺灣土水協會）與雲南省環境科學學會（下稱雲南環科會）簽署之土壤及地下水合作架構協議，於雲南舉辦之相關交流參訪活動。應雲南環科會之邀請，於 107 年 12 月 19 日至 12 月 25 日前往雲南省，由臺灣土水協會資深會員陳慎德、賴允傑、黃泰祥及本署蔡惠珍環境技術師兼副組長、謝菊蕙環境技術師兼副組長等 5 人赴陸交流。期間於雲南省環境科學研究院（下稱雲南環科院）出席「雲南高風險土壤污染場址管理及褐地開發」、「高背景值土壤環境調查與評估和安全利用項目」、「土壤 PAH 污染場址概況及土地利用規劃」交流座談會，並於訪問期間參觀雲南北京建工環境修復股份有限公司土壤污染處理工程。交流參訪作業全程均會同臺灣土水協會之專業人士共同研討，除瞭解雲南省目前土壤污染調查及整治工作、場址風險評估管理法規推動方式及給予相關建議外，並與產官學研代表共同檢視雲南省土壤環境重要課題，包含高背景重金屬農地土壤治理、重金屬及多環芳香族碳氫化合物（Polycyclic Aromatic Hydrocarbons，簡稱 PAH）等工業污染場址土壤修復工程、結合褐地開發利用之污染場址修復項目。

壹、目的

為瞭解雲南省高風險土壤污染場址管理方式、整治後污染土地之開發利用與土壤及地下水污染調查、整治技術等實務工作執行情形，藉以提升我國於國際間土水整治專業技術地位，爰透過臺灣土水協會安排參與該協會與雲南環科會之交流參訪活動。

雲南省為中國大陸重要農業省份，生產包含花卉果樹、中藥材、菸草及茶葉等高經濟價值作物。雲南省亦為礦產資源豐富省份，礦業開採出產眾多有色金屬原料；近年因工業發展快速，土壤環境受重金屬污染及有機污染物污染嚴重且污染場址類型多樣。另，雲南省位於中國大陸西南方板塊活動區域，因地質因素致使部分農地土壤重金屬濃度偏高，影響農業生產及農產品之食用安全性。目前雲南省積極推動各項土壤污染調查與污染整治工作，優先整治高風險污染場址，並逐步展開農地高背景土壤調查作業及研討因應措施。

本次參訪包含多場次座談會，針對各項關切議題交流意見，瞭解雲南省污染調查規劃及整治工作的推動進程，及污染改善作業中各項法規指引的執行方式與相關管理作為。行程中會同臺灣土水協會之專業人士，實地參訪污染改善場址，討論工業污染場址修復工程技術執行與成效。

貳、參訪行程

日期	工作內容
12/19 (三)	啟程，出發至中國大陸昆明市。考察土壤 PAH 污染場址調查及改善作業
12/20 (四)	參訪雲南省環科院，上午參加「雲南高風險土壤污染場址管理及褐地開發」、下午參加「高背景值土壤環境調查與評估和安全利用項目」交流座談會
12/21 (五)	考察雲南北京建工環境修復股份有限公司土壤污染處理工程
12/22 (六)	雲南鹿阜高重金屬土壤農地分布區域農地生產管理，及農用地高背景試點項目介紹與工作開展規劃
12/23 (日)	參加「土壤 PAH 污染場址概況及土地利用規劃」交流座談會
12/24 (一)	自昆明市搭機至香港
12/25 (二)	自香港搭機返回臺灣

參、參訪結果

一、考察 PAH 污染場址調查及改善作業（12/19）

本日由桃園搭機至香港轉機至雲南昆明，於當日下午 2 時抵達雲南昆明長水國際機場後，由雲南環科會派員接機，至昆明郊外參訪土壤多環芳香碳氫化合物（**Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**，簡稱 **PAH**）污染場址調查及改善作業，該場址原為鋼鐵焦化業用地，廠區設有四座焦爐及煤氣淨化回收系統，主要生產煤氣、焦炭及衍生之化工原料，主要供應昆明市民生及工業用途。2016 年停工關廠後，配合中國大陸一帶一路政策，利用優越的地理區位及既有之便捷交通運輸系統，規劃將土地轉型作為物流中心。考察時廠區生產設備大多已拆除，僅保留煤氣櫃及一座煉焦爐，可供後續成立工業文化遺址公園之用。

雲南省環科院受廠方所託，擔任場址全過程顧問，於 2017 至 2018 年間分區、分階段辦理污染調查作業，確認土壤中主要污染物為 PAH 及苯等有機污染物，場址表土為厚重黏土、污染深度受當地喀斯特石灰岩母質地質影響，部分區域達 6 至 18 公尺。

考察期間由雲南環科院及廠方代表接待陪同，說明廠區配置及污染調查結果，現地勘查瞭解污染區域及污染概況後，於會議室交流討論，廠方代表邀集物流中心之規劃執行團隊及雲南環科院顧問，共同討論、檢討及擬定後續污染土壤及地下水之整治方式，預計以結合工程改善及風險控管方式推動場址之修復工作。

因該污染土地後續將開發為物流中心，故目前規劃採風險評估方式藉由物流中心之暴露情境設定，計算土壤污染物之改善濃度，據以研擬污染改善配套措施，原則採改善上層土壤中污染物，並設置隔絕措施，以防止土壤污染物擴散至鄰近環境及影響地表人為活動。



圖 1 PAH 污染場址參訪



圖 2 PAH 污染場址污染改善及風險控管方式交流

二、高風險場址及高背景土壤調查評估座談會（12/20）

本日於昆明市雲南省環科院參與座談會，上午主題為「雲南高風險土壤污染場址管理及褐地開發」、下午主題為「高背景值土壤環境調查與評估和安全利用項目」。

「雲南高風險土壤污染場址管理及褐地開發」會議由雲南省環科院郭俊梅書記主持，土壤環境保護研究中心和麗萍主任及主要成員共同參與，郭俊梅書記於會議中說明雲南省環科院配合中國國家政策，對於環境保護措施相當重視，雲南省環科院為雲南省環境保護廳（下稱雲南省環保廳）的顧問單位，長期投注於科學研究及技術發展，並協助雲南省環保廳研擬相關環境政策及推動場址污染改善作業。和麗萍主任說明目前雲南省土壤污染修復項目研究及執行概況，包含土壤及地下水受 PAH 之污染場址調查階段性成果與後續整治規劃，同時說明雲南省環保廳將展開加油站及地下儲槽相關管理工作，提出對於場址在調查與整治上之技術需求。臺灣土水協會會員陳慎德副總經理分享近年我國污染防制及管理經驗，整合污染調查及土地利用訊息，以圖像化的方式綜合呈現環境品質現況及管理量能，提供環保單位區域治理的基礎資料。賴允傑專案經理說明於臺灣東部自然背景母質農地土壤之調查與行政管理案例。

「高背景值土壤環境調查與評估和安全利用項目」會議由雲南省環保廳土壤環境管理處周波處長主持，周波處長首先說明雲南省環境廳近期擴大環境領域的管理範疇，已將地下水業務納入土壤處管理，未來將朝向土壤及地下水聯合管理的方式推動政策及發展相關技術，如地下儲槽之調查與污染改善技術。另雲南省環保廳配合 2018 年土壤質量標準頒布「土壤環境質量標準」所規範之土壤污染改善各項啟動值，辦理環境品質相關管理作業。然雲南省因部分地區自然地質環境中即富有高量之重金屬，亟需辦理前述地區土壤環境特性及背景重金屬濃度分布之調查作業，以建立高背景土壤重金屬特性基準值，及規劃相對應之農地安全利

用之管理方式。

土壤環境保護研究中心和麗萍主任說明依國土資源部門地球化學調查結果，評估屬地質因素之土壤高背景重金屬濃度區域，包含雲南省東部石林地區（主要為砷及鎘）及西部麗江地區（受基性火成岩影響，主要為鉻及鎳）。未來將著手協助地方環保單位建立高背景地區土壤重金屬特性基準濃度，考量地方土地利用方式及規劃風險分區，分別為嚴格管控、安全利用及優先保護等三種農地類型。

高背景重金屬農地調查及安全管理為地方環保單位所屬業務，與會人員除雲南省環科院土壤環境保護研究中心成員外，特別邀請地方環保單位人員參與，包含昆明市環保局董麗瓊、麗江市環保局趙玲、石林縣環保局李福金、玉龍縣環保局孫有芬、古城區環保局王洪斌及周軍等人，各環保局人員說明高背景區域土地利用現況多以農業為主，生產糧食作物、蔬菜、果樹及中藥材等。雲南省相較中國大陸東部省份，工業建設起步較晚，雲南省擁有較佳的農業生產環境，使雲南省出產之農產品在市場上評價良好。近年配合中國大陸開拓海外市場的政策，雲南省大力推廣有機農業之蔬果認證制度，地方縣市亦積極推動具有地方特色農產品及高經濟作物，以雲南的農產品及經濟作物產品代表最高品質的標幟，進而提升農產品之競爭力。然部分地區因自然地質環境所導致土壤重金屬濃度高於「土壤環境質量標準」的情形，將影響農產品品質並損及雲南省農產品高品質之形象。因此，各地方環保單位均表示高背景農地重金屬調查有其必要性，冀雲南省環保廳提供相對應農地安全利用之配套措施。

周波處長重申調查評估高背景值土壤環境範圍及發展安全利用措施之迫切性，針對高背景區域農地土壤，應廣泛將土壤基本物理化學生物特性、影響作物吸收重金屬之反應機制等納入考量，預計於 2020 年完成高背景農地之嚴格控管區劃設作業，維護多數農地農業生產功能。周波處長表示，臺灣在自然高背景農地

調查及行政管理上已有相關案例，希望透過臺灣土水協會為聯絡窗口與臺灣加強交流，並以石林鹿阜鎮等高背景值區域土壤調查展開具體合作。



圖 3 高風險土壤污染場址管理及褐地開發交流座談



圖 4 高背景值土壤環境調查評估與安全利用交流座談

三、考察汞污染場址土壤整治作業（12/21）

本日考察位於昆明市西方之汞污染場址污染改善情形，該場址改善工程為近年雲南省大型之污染改善工程。工廠係為雲南省雲天化集團旗下之控股公司所有，該公司為雲南省第二大氯鹼化工企業，建於 1958 年，公司的主要產品年生產能力為燒鹼 3 萬噸、聚氯乙烯 3 萬噸、三氯化鐵 2,000 噸、鹽酸 1 萬 7,000 噸及百菌清農藥 1,000 噸。1991 年之前係採用水銀燒鹼法生產氯鹼，製程中產生大量含汞鹽泥，直接或間接造成廠區土壤及地下水污染，2011 年因製程設備老舊而關廠停止生產。2013 年廠方委託雲南省環科院辦理污染調查及風險評估等相關計畫，調查結果主要之污染物為汞、砷及鎘等重金屬。場址之土壤污染改善目標係由後續土地利用方式及相關人員之暴露風險估算而得，場址後續用途明確，規劃開發作為商業用地，故依商業用地之暴露情境計算，基坑底部與側壁土壤污染物容許濃度分別為，總汞 47.6 mg/kg、零價汞 1.7 mg/kg、砷 163 mg/kg、鎘 30 mg/kg。

2016 年北京建工環境修復股份有限公司受場址廠方委託，執行各項土壤污染改善工程，包含土壤預處理、渣塊清洗、含汞鹽泥及重度污染土壤修復、中輕度污染土壤修復、基坑降水處理工程以及配套的供水、供電、污水處理、尾氣處理等工程。北京建工環境修復股份有限公司設計整治方案，依土壤汞污染程度規劃工程改善方式，其中 3 萬立方公尺汞污泥及 2.5 萬立方公尺重度污染之土壤採熱脫附技術修復，主要由兩座移動式間接熱脫附爐處理。污泥及污染土壤經破碎篩分及適度乾燥後，加熱至 400 至 600 °C 脫除 97 至 99.5% 的汞，經檢驗合格後外運至掩埋場處置。另 1.6 萬立方公尺中輕度污染土壤則採固化穩定化技術修復，完成改善之土壤經重金屬溶出程序測試符合標準後，清運至一般工業固廢填埋場掩埋。場址污染改善作業歷時 2 年，改善經費約 1.37 億人民幣（約 6.3 億新臺幣），參訪時污染改善工程部分已完成，現場正辦理最後機具設備拆卸、收拾及清理作業。

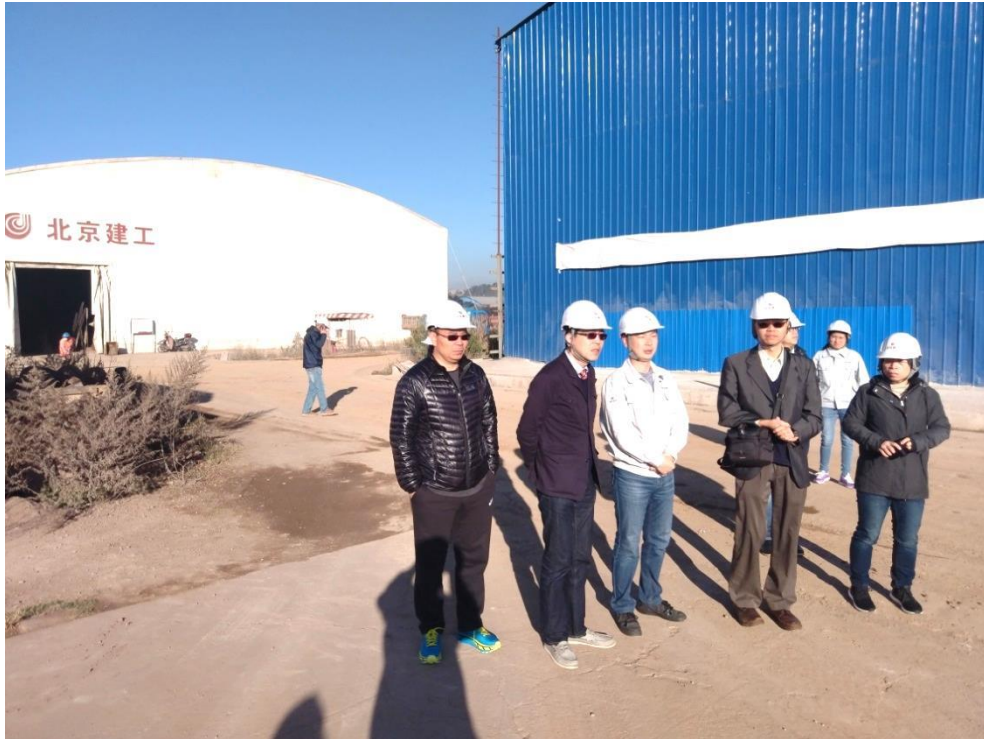


圖 5 雲天化集團汞污染場址參訪



圖 6 移動式間接熱脫附汞移除設備



圖 7 原汞污染污泥、土壤暫存區及污染改善開挖基坑



圖 8 雲天化集團汞污染場址治理座談會

四、高背景土壤調查規劃工作會議（12/22）

本日與臺灣土水協會成員及雲南省環科院人員就昆明市石林縣鹿阜鎮土壤調查資料交流座談，規劃調查工作內容。依據雲南省環科院提供之資料顯示，前述地區土壤重金屬濃度高於雲南省其他地區，且當地過往之調查結果為砷、鎘、鉻、銅、鎳及鉛等重金屬濃度均高於中國大陸平均土壤濃度及 2018 年 8 月 1 日實施土壤環境質量標準。

雲南省環科院前於 2017 年協助地方環保局研提「農用地土壤環境調查評估及安全利用示範實施方案」計畫，爭取中央專款預算進行高背景濃度區域之範圍調查及高濃度區農地農藝調控示範作業。雲南省環科院說明地方環保局土壤重金屬濃度調查初步結果，臺灣土水協會成員協助檢視土壤重金屬濃度調查資料，共同討論該區域土地利用方式及高背景地區土壤調查工作之程序與作業邏輯。臺灣土水協會成員說明高背景土壤生成原因多與地質因素有關，建議先蒐集地質岩性及其成礦構造活動等資料，瞭解高背景母質之分布範圍，結合土壤重金屬濃度調查結果，作為後續實地調查區域及安全利用示範區之基礎資料。

五、土壤 PAH 污染場址調查評估與整治規劃座談會（12/23）

本日於雲南省環科院參加「土壤 PAH 污染場址概況及土地利用規劃」交流座談會。雲南省環科院邀集廠方、金曉文博士帶領之水文地質團隊、土壤污染整治及風險評估專業領域之學者專家（吳啟模、彭勇、董小龍），共同檢視曾參訪之 PAH 污染場址資料，包含土壤及地下水污染物檢測分析結果及場址周圍水文地質條件，結合場址後續土地利用方式，研商 PAH 污染場址之改善方案。

首先由雲南省環科院簡報「PAH 污染場址南片區場地調查初步結果分析匯報」，說明現階段場址調查與土壤及地下水檢測分析結果，瞭解場址之污染範圍及釐清主要污染物包含苯及 PAH 之濃度區間。場址下方為深厚之石灰岩母質紅壤，土質黏重乾燥後形成裂隙，成為土壤污染物擴散之優勢途徑。另場址地下水環境具喀斯特地質之屬性特性，污染物經地下水傳輸難以掌握污染物之移動方式。水文地質團隊於場址下游之民井採集深層水質樣品，檢測分析結果顯示污染物濃度並未達到水質標準，初步研判下游民井水質尚未受場址污染物影響。此外，該團隊蒐集場址之周圍地質資料建構鄰近之地質模型，場址地下水下游處有一泥岩層通過，泥岩岩性較緻密形成地下水之阻滯層，場址下方地下水中污染物可能受限於當地泥岩之地質條件，且未穿透滲入或擴散鄰近場址之喀斯特地質帶當中，故未造成污染擴散的情形。

PAH 污染場址採風險評估方式計算污染改善目標，本場址後續用途明確，規劃開發作為物流轉運區。廠方結合開發後土地用途，並考量污染物暴露的潛在途徑，在可接受風險下計算污染改善目標。座談會中學者專家提出多種污染改善之初步規劃方案，亦納入整治列車之思維，依改善工法特性及場址改善階段搭配使用。臺灣土水協會成員分享場址調查及風險評估相關經驗，建議將地球物理技術應用於建立本場址之概念模型，可較適切地掌握污染物的傳輸方式。



圖 9 土壤 PAH 場址污染調查成果簡報



圖 10 土壤 PAH 污染場址概況及風險治理座談會

肆、心得與建議

雲南省工業污染場址於轉型再利用之設計階段即引進外部資源，加速場址之解列，且規劃整治與褐地開發併行，此概念尚未規範於中國大陸土壤污染相關法規中；相較我國土壤及地下水污染整治雖已納入褐地開發規範，並推動整治與褐地再利用併行，然國內尚未有相關案例。後續仍應持續開展相關業務，成立輔導團，協助加速污染整治工作，以使褐地活化，減少對環境影響及民眾健康危害。

雲南省有豐富之礦產及大規模之有色金屬冶煉工業，近年雲南省政府配合中國大陸國家政策，持續推動工業污染場址轉型成高價值商業區，且適逢各項中國大陸環境保護標準陸續實施，各界對環境保護的要求日亦提高。為兼顧土地資源活化及環境保護的價值，由產官學研組成工作小組，運用務實風險評估試算工具，依開發後之土地利用情境設定受體暴露參數，訂定合適之污染修復目標值。而我國目前亦有一以風險評估訂定整治目標之案例刻進行中，並由專家學者組成風險評估小組協助審查；另外，並針對無論是污染改善停滯之場址或整治技術有困難之場址，都將推動以風險評估技術來管理污染場址，以阻絕污染危害，避免民眾接觸。故我國風險評估技術無論在法規或制度上皆已完備，然後續與褐地再利用狀況同，案例不多，應持續推動。

我國東部及澎湖地區母質農地土壤之調查經驗及地球物理探勘技術，建議後續可提供及協助雲南省處理自然背景重金屬濃度偏高之調查判識、石灰岩地質裂隙溶蝕造成地下環境污染複雜之調查及建立場址概念模型；雲南省環境廳積極展開土壤環境治理工作，包含高背景重金屬農地區域的劃定、擬訂作物安全生產管理措施，並逐步納入加油站等地下儲槽業務。經瞭解各項業務均在起步階段、並且在技術上有高度的需求，如針對高背景地質區農地劃定項目，雲南省較欠缺系統性之基礎調查研究規劃，建議後續可提供我國東部及澎湖地區自然高背景農地土壤之調查經驗

協助。又如雲南省部分地質屬喀斯特石灰岩地質，地質因溶蝕而造成地下水污染物複雜的污染樣態，而目前中國大陸對於地球物理探勘技術較為欠缺，建議後續可推廣臺灣專業技術至當地發展。