土壤及地下水污染整治技術簡介練習題

第二章、污染類型與整治技術分類

1. 整治技術分為哪三大類？
   解答：現地 (In Situ)、離地 (Ex Situ)、及離場 (Off Site) 處理。

2. 何謂現地處理？
   解答：直接於土壤及地下水污染區進行整治工作。

3. 何謂離地處理？
   解答：先將遭受污染之土壤挖出或地下水抽出至地表面上，再經由整治方式處理受污染土壤和地下水至安全標準。

4. 何謂離場處理？
   解答：將遭受污染之土壤及地下水由地表下挖除或抽出後經由運輸系統運離受污染場址後進行處理。

5. 污染場址整治技術之處理機制可分為哪些？
   解答：生物、物理/化學、能量法，以及綜合上述處理方式的複合式整治列車。

第三章、主要土壤污染整治技術及其適用性概述

6. 利用整治工法去除污染方能達到資源永續再利用，就土壤污染整治/復育而言可分為哪 3 類？
   解答：1. 移除污染物或使其轉化為無害物質。
   2. 防止污染物釋出。
   3. 減少污染物釋出。

3.1 土壤物理處理法

7. 土壤翻轉稀釋法的主要效果？
   解答：主要是針對污染之表土（0-15公分）及裡土（15-30公分），配合未污染之深層土（>30公分）加以混合稀釋，以達到重金屬土壤管制標準（非鎘污染）或監測標準（鎘污染）以下。

8. 土壤翻轉稀釋法的缺點？
解答：上下層土壤均勻混合之翻土稀釋法，僅是利用下層低濃度之土壤與濃度較高之上層土壤加以混合，雖重金屬之濃度可以因稀釋而降低，但重金屬仍存在於土壤之中，重金屬之全量仍未改變。

9. 什麼是電動力分離法 (Electrokinetic Separation, EK)？
解答：在低滲透性土壤、泥巴和污泥中插入正負電極棒，通以適當大小之直流電壓或電流後，使帶正電荷的污染物向陰極移動，使帶負電荷的污染物向陽極移動而分離污染物，依序移除金屬性和有機污染質，最後用沉澱法或抽水抽氣法將集中於電極附近的污染物全部移除。

10. 電動力分離法 (Electrokinetic Separation, EK) 適用於哪些土壤層？
解答：適用於飽和層土壤，亦可應用於不飽和層土壤。

11. 土壤氣體抽除法 (Soil Vapor Extraction, SVE) 回收井之使用通常以垂直井為主，適當深度為？
解答：1.5-91公尺。

12. 土壤氣體抽除法 (Soil Vapor Extraction, SVE) 主要去除哪種污染物？
解答：揮發性有機物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 及部分的燃料油，通常亨利定律常數大於0.01或蒸氣壓大於0.5 mmHg以上時適用。

3.2 土壤化學處理法

13. 何謂現地化學氧化法 (In-Situ Chemical Oxidation, ISCO)？
解答：將氧化劑送入地下，以轉換危險性的目標污染物 (Contaminants of Concern, COCs) 成無危險性或降低化合物毒性，並降低其質量、移動性使其較穩定、不活躍或惰性。常用之氧化劑種類有過氧化氫、高錳酸鹽、過硫酸鹽、釋氧物質、臭氧。

14. 主導化學氧化法反應的條件包括哪些？
解答：熱力學 (Thermodynamics)、化學計量 (Stoichiometry)、反應動力 (Kinetics) 及接觸 (Contact) 與否。

15. Fenton 氧化劑（過氧化氫）可能不適用於含有大量碳酸鹽的地下水，為什麼？
解答：過氧化氫的氫氧自由基，在尚未與地下水中油品反應之前，即與碳酸鹽離子進行反應耗盡，造成浪費耗損與效率降低。

16. 現地土壤淋洗法 (In-Situ Soil Flushing) 常見的淋（沖）洗溶液有哪些？
解答：水、酸性溶液、鹼性溶液、螯合劑或界面活性劑等。

17. 現地土壤淋洗法 (In-Situ Soil Flushing) 的限制因素包括哪些？
解答：1. 不適合低滲透性或非均質的土壤的處理。
2. 界面活性劑會黏附土壤降低土壤孔隙度。
3. 清洗流體與土壤的反應會降低污染物質的流動性。
4. 抽出的廢水需進行回收、處理而增加處理成本。

18. 現場或離場土壤清洗法 (Ex-Situ Soil Washing) 的主要機制？
解答：污染物從土壤轉移至水溶液之物理移轉過程，若污染物大部分吸附於土壤顆粒表面，可經由清洗液清洗出來；或者被細小顆粒（黏粒及粉粒）所吸附之污染物可藉由篩分法將細顆粒及粗顆粒（砂粒）分開，而達到分離與減積的效果。

19. 現場或離場土壤清洗法 (Ex-Situ Soil Washing) 的限制因素包括？
解答：1. 複雜的廢棄物混合（如含有機物質的金屬）使得難以配製清洗液。
2. 土壤中高腐植質可能需要預先處理。
3. 結束清洗 (Demobilization) 時水流將需進行處理。
4. 處理後的殘餘物質中殘留的有害清洗液量可能需要額外的處理措施。
5. 黏土質顆粒所吸收的有機物質可能難以清除。

20. 何謂「固化法」？

解答：以固化劑與土壤或廢棄物進行物理結合，污染物質會完全的被封隔或附著在穩定的土塊裡，達到限制有害成分溶出或移動的目的。

21. 何謂「穩定化法」？

解答：利用化學穩定劑與土壤或廢棄物產生化學反應來降低污染物質的流動，將有害成分轉換成無害成分或降低其有害性之處理方法。

22. 現地固化處理與現場固化處理的差異點？

解答：前者則不經挖掘程序，直接於現地進行固化；後者是經由挖掘設備移除污染土壤後，依一般固化程序處理。

23. 固化/穩定法 (S/S) 使用的技術與藥劑有哪些？

解答：1. 瀝青化。
2. 乳化瀝青。
3. 改良型硫水泥。
4. 聚乙烯擠壓。
5. 火山灰/普通水泥。
6. 放射性廢棄物固化。
7. 污泥安定化。
8. 可溶性磷酸鹽。
9. 玻璃化/玻璃液。

24. 固化/穩定法 (S/S) 的限制因子有哪些？

解答：環境條件可能影響污染物的長期固化、某些流程會導致處理後體積或重量會大幅增加（高達原始量的2倍）、某些廢棄物與不同流程不相容、一般都還要進行處理性研究。

25. 簡述還原劑注入法 (Reducing Agent Injection)？

解答：利用化學藥劑的注入，使地下環境中變成還原條件，當氧化還原敏感的污染物流至該區域時，可被降解成二氧化碳或毒性較低物質，或是形成沉澱。

3.3 土壤生物復育法

26. 簡述土地耕作法 (Landfarming)？

解答：將受污染之土壤、沉積物或泥漿挖除，放於墊床上，定期翻動通氣。這種方法廣泛的包括挖掘淺層受污染之土壤，並利用通氣或是添加營養鹽、溼度、礦物質等條件提高好氧微生物活性，進而利用微生物降解污染物的技術。

27. 簡述生物堆法 (Biopiles)？

解答：將挖除之受污染土壤與土壤改良劑混合，置於地面處理區內。這方法為靜態的通氣堆埋過程，將土壤堆放一起，並以鼓風機或真空幫浦送風和抽氣。運用生物降解的機制來減低土壤中受石油成分污染之污染物濃度，此技術牽涉到污染土壤堆積成堆 (Piles) 或是單房 (Cells) 與通入氣體或是添加礦物質、營養鹽與溼度控制等，藉此促進土壤中好氧微生物之活性；藉由微生物之呼吸作用加強微生物之活性以降解污染物。

28. 簡述生物通氣法 (Bioventing)？

解答：將空氣強制灌入（抽除或注入空氣）至非飽和層土壤，傳送氧氣，提高氧濃度，促進生物降解。微生物通氣法將空氣流量降低，只提供剛好足夠維持微生物活動的氧氣量，一般將空氣直接注入土壤裡的殘留污染物是供氧的最常見方法。微生物通氣法屬中長期的整治技術，能有效整治受石油、碳氫化合物、非含氯溶劑、部分殺蟲劑、木材防腐劑和其他有機化學品污染的土壤，過程需花數月至數年不等。

29. 簡述加強生物復育法 (Enhanced Bioremediation)？

解答：透過傳送水性溶液至受污染土壤，促進天然微生物的活動，加強現地有機污染物的生物降解或固定無機污染物的位置。利用養分、氧氣、或其他土地改良劑去加速生物復育或污染物脫附。本技術最常用作處理多環芳香烴化合物類、非鹵化半揮發性有機化合物（不包括多環芳香烴化合物類），及BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）等污染。

30. 簡述植物復育法 (Phytoremediation)？

解答：利用植物去移除、轉化、穩定或破壞土壤或沉積物裡的有機或無機污染物。其所運用到之機制及其應用層面則包括：

1. 穩定 (Phytostabilization)—利用植物根部，將污染物加以安定。
2. 根解 (Rhizodegradation)—利用植物根部生理機能促進局部土壤微生物活性，進而對有機物污染物進行直接分解或共代謝降解。
3. 累積 (Phytoaccumulation)—植物攝取污染物並累積於內。
4. 降解 (Phytodegradation)—植物代謝、分解攝取之有機物污染物。
5. 揮發 (Phytovolatilization)—植物葉部將污染物散發至大氣。
6. 蒸散 (Evapotranspiration)—利用植物水分蒸散現象，持續吸收溶解於地下水中之污染物。

3.4 土壤熱處理法

31. 簡述現地熱處理法的作法與原理？

解答：將高溫蒸氣注入，或是利用電阻加熱（六相土壤加熱法）、熱傳導加熱、電波頻率、高溫熱空氣或熱水的方式，將熱導入受污染土壤中，促使土壤或地下水溫度提升，以使污染物更容易溶解、揮發或移動，以利於整治。

32. 簡述熱裂解法 (Pyrolysis) 的做法與原理？

解答：在無氧的狀態下，以高熱將污染物分解，有機物質會被改變形成氣態，而且會留下含有安定的碳和灰燼的固體殘餘。本技術法對於處理土壤的有機物和油性污泥是相當有效的。

33. 熱裂解法 (Pyrolysis) 的主要的目標污染物為何？

解答：半揮發性有機化合物 (Semivolatile Organic Compounds, SVOCs) 和農藥，包括：多氯聯苯 (Polychlorinated Biphenyls, PCBs)、戴奧辛 (Dioxins)、多環芳香烴化合物類 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 和其他的有機物體。

34. 熱脫附 (Thermal Desorption) 常見的方法有哪些？

解答：1. 直接燃燒：直接在受污染的媒介表面加熱。

2. 間接燃燒：直接燃燒旋轉乾燥器，熱空氣會跟土壤接觸，令水分及有機污染物從土壤中脫附。
3. 間接加熱：燃燒旋轉乾燥器的外部，將受污染媒介裡的水分和有機物揮發，變為惰性載氣流，然後再處理載氣，以移除或回收污染物。

35. 熱脫附方法可按脫附器操作溫度分為哪幾類？

解答：高溫熱脫附 (High Temperature Thermal Desorption, HTTD) (320-560℃) 及低溫熱脫附 (Low Temperature Thermal Desorption, LTTD) (90-320℃)。一般而言，溫度越高越容易脫附不易揮發之污染物。適用於石油碳氫化合物、農藥及汞。

第四章、主要地下水污染整治技術及其適用性概述

4.1 抽出處理法及水力控制法

36. 地下水抽出處理法包括哪兩部分？

解答：抽取井與地面處理設備。抽取井利用抽水作用，降低地下水位，防止受污染的地下水向外擴散，或是隨地下水流向下游方向流去；而地面處理設備則將抽出之地下水在現場進行處理，處理設備則視場址的環境及污染物種類而定，通常地下水一旦抽出後，其處理方法與廢水處理差異不大，如重力沉澱、氣提系統、活性碳吸附系統，以移除污染物種。

37. 抽取處理法適用的情境為何？

解答：處理溶解度大之污染物，場址條件則水力傳導係數高 ($>10^{-5}$ cm/sec)、場址均勻、有機質含量低之砂質含水層。

4.2 地下水物理處理法

38. 簡述空氣注入法 (Air Sparging, AS)？

解答：利用壓力將空氣或氧氣注入地下水中，產生氣泡，促使含水層（飽和層）之地下水污染物溶出，並揮發至氣相進入透氣層（不飽如層）中，為有效控制氣相污染物的流動，一般會結合土壤氣體抽除法（簡稱AS/SVE），將氣體抽出至地面處理後予以排放。由於此法必須注入空氣或氧氣，可增加地下水溶氧量及不飽和層氣體氧氣濃度，因此可促進污染物被好氧微生物降解。

39. 影響生物吸啜法應用或成效的限制包括哪些？

解答：1. 在不易滲透的土壤內效率較低。

2. 土壤溼度低可能影響生物降解及生物通氣法的效率，令土壤乾燥。

3. 含氯化合物需要共代謝物方可有效完成好氧生物降解。

4. 低溫會拖慢整治速度。

5. 通常需設置吸啜系統處理排放的氣體，但此設施一般只需在工程展開後運作一短時期。

6. 由於燃油、水分和空氣同時從地下抽出，因此混合物內含有不同狀態的成分，需經過油水分離或其他處理過程方可排放。

40. 簡述井內氣提法 (In-Well Air Stripping) 的原理？

解答：此技術是地下水循環井 (Groundwater Circulation Well, GCW) 的一種應用，其原理是利用將地下水抽入井內後，再經過井管，將井內之地下水在不抽出地下的條件下，重新打入地下水層，在地下水層形成循環。又稱為現地氣提、真空氣體萃取。

4.3 地下水化學處理法

41. 現地化學氧化法針對地下水污染，普遍使用的 ISCO 注入方式包括哪兩大類？

解答：1. 主動式沖洗 (Flushing)：使用垂直或水平井，以重力流的方式使氧化劑主動流入地下水污染區，或是配合另一端抽取井以控制氧化劑流動方向，使氧化劑與污染物發生氧化作用而降解。

2. 被動式注入 (Injection)：使用加壓灌注方式以探針、灌注設備、往覆式泵，將氧化劑被動式的灌注至地下水污染區。如在地質較為緻密氧化劑不易流動傳輸的情況時，欲加速氧化劑的傳輸，則可採用破裂法 (Fracturing)，以水力或氣動的方式擾動或破壞地層孔隙，形成破出現象 (Breakthrough)，促使氧化劑到達污染目標區進行反應。

42. 透水性反應牆的作用機制有哪些？

解答：1. 物化反應：如化學沉澱、氧化還原、吸收。整治牆中可放入石灰石或泥碳以調整地下水中之pH，以使目標污染物能在適當的pH環境中被沉澱去除。

2. 生物反應

(1) 以生物作用還原並去除陰離子：提供有效且生物可利用的有機物，以生物可利用的有機物為電子提供者，使陰離子（例如NO_3^-、SO_4^{2-}等）為電子接受者，經由生物作用的氧化還原反應而被還原移除。
(2) 利用某些菌種可以陽離子作為氧化還原反應之電子接受者。
(3) 以釋氧物質 (ORC) 加速有機物之好氧分解。

43. 透水性反應牆優點有哪些？
解答：1. 建造成本較傳統之抽取處理法相當。
2. 侷限污染物較其他處理技術快。
3. 安裝設置過程簡單，僅與該地區土壤型態有關。
4. 操作成本低，不須任何機械與電力。
5. 維護成本低，設置後只需定期監測地下水及更換處理單元。
6. 較少之場址表面破壞及人力成本。
7. 現地處理，無廢水排放問題。

4.4 地下水生物復育法

44. 現地生物整治應用包含哪些？
解答：1. 生物促進 (Biostimulation)—以人為供應氧氣或添加營養源（如氮、磷等）及其他電子接受者於環境或生物反應器中，以促進原本微生物活性及族群。
2. 生物添加 (Bioaugmentation)—添加外來具有特殊分解能力的微生物至污染場址以加速分解。

45. 現地生物復育的優點？
解答：在現地進行、無二次污染、對場址擾動較小。

46. 現地生物復育的限制因子？
解答：考量清除程度的可達成性、產生毒性副產物的潛能、不適合低滲透性土壤、井阻塞問題等。

47. 現地地下水生物復育法的電子接受者為何？

解答：對好氧的生物復育來說，氧氣是主要的電子接受者。在厭氧的情況下，由硝酸鹽扮演一個替代性的電子接受者。

4.5 監測式自然衰減法

48. 監測式自然衰減法 (Monitored Natural Attenuation, MNA) 去除機制有哪些？

解答：延散 (Dispersion)、稀釋 (Dilution)、吸/脫附 (Sorption)、揮發 (Volatilization)、化學與生化穩定化及生物分解 (Biodegradation)。

49. 自然降解法具有哪些優點？

解答：1. 產生或轉移較少整治作為的廢棄物。
2. 需對地面結構所做的侵入性工程較少。
3. 可能適用於指定區全部或部分區域，端視現場狀況和清理目標物而定。
4. 自然降解法可結合其他（主動式）整治工法或在後續進行。
5. 全部成本將會低於主動式整治。

國家環境研究院 National Environmental Research Academy