有害空氣污染物控制方法概論練習題 (甲級)

貳、有害空氣污染物簡介

2.1 有害空氣污染物之定義

1. 何謂有害空氣污染物？

解答：依據美國聯邦環保署1990年版清淨空氣法 (1990 Clean Air Act Amendments, 1990 CAAA) 對「有害空氣污染物」之定義為:「任何可能或會造成癌症或其他嚴重健康影響 (如：生殖影響、生理缺陷、不良環境及生態影響等) 之空氣污染物」。日本環境省於大氣污染防制法對有害空氣污染物之定義為「除煙霧及特定粒狀物外，可能透過長期低濃度暴露持續對人類健康產生不良效應之空氣污染物」。澳洲聯邦政府則定義為「於空氣中雖為低濃度但可能造成嚴重健康影響或環境問題之空氣污染物」。易言之，任何可能引起上述嚴重影響人體健康效應之空氣污染物皆可稱為「有害空氣污染物」；由前述定義顯示其所涵蓋對象十分廣泛，包括有機物、重金屬、無機物等等，就物理外觀而言，則可為氣相、液相或固相物質。

2. 試述各國有害空氣污染管制物種？

解答:先進國家多採明列管制物種之方式進行污染源或物種管制作業。例如美國聯邦環保署明列187種有害空氣污染物；日本環境省篩選248種有害空氣污染物，並公布其中23項對人體具高度危害之有害空氣污染物優先列管；德國聯邦政府明列約170種有害空氣污染物管制標準；韓國環境部指定35種有害空氣污染物進行特別管制。

2.2 有害空氣污染物之分類

3. 試說明美國聯邦環保署對有害空氣污染物之致癌性分類方法？

解答：美國聯邦環保署1986年提出之分類為：A類：已知人體致癌物；B1類：疑似是人體致癌物 (動物試驗數據有足夠證據，但人體證據有限)；B2類：可能是人體致癌物 (動物試驗數據有足夠證據，但人體證據不足或欠缺)；C類：可能是人體致癌物 (動物試驗數據有限，且人體證據不足或欠缺)；D類：缺乏資料證明為人體致癌物；E類：2次以上不同種類動物試驗結果或流行病學及動物實驗顯示具足夠資料證明非為人體致癌物。

於2005年時，US EPA對於物質致癌分類另外定義修訂為：CH類 (對人體具有致癌性):同上述A類;LH類 (疑似對人體致癌)：

同上述B1類；SE類 (有證據暗示具致癌潛勢)：同上述B2類；InI類 (評估致癌潛勢之資訊不足)：同上述D類；NH類 (不可能對人類致癌)：同上述E類。

4. 試說明國際癌症研究總署 (IARC) 之化學品致癌分類？

解答：國際癌症研究總署 (IARC) 將化合物於人體流行病學與動物實驗研究所得資料，依其致癌證據的強弱分為：Group 1 確定人體致癌 (Carcinogenic to humans)；Group 2A：疑似人體致癌 (Probably carcinogenic to humans)；Group 2B：可能為人體致癌 (證據不足，但有動物試驗數據) (Possibly carcinogenic to humans)；Group 3：無法判斷為人體致癌性 (Not classifiable as to its carcinogenicity to humans)；Group 4：疑似非為人體致癌性 (Probably not carcinogenic to humans)。

2.3 有害空氣污染物之管制策略

5. 試述有害空氣污染物管制目標及策略思考？

解答：有害空氣污染物管制係以「降低大氣環境有害空氣污染物濃度，保護民眾健康」為目標；固定污染源有害空氣污染物管制策略思考係以降低民眾暴露濃度為考量，保護受體端，管制排放端。

6. 試述固定污染源有害空氣污染物管制策略？

解答：固定源有害空氣污染物管制策略概念係以風險減量 (Risk reduction) 為目的，控制技術為減量方法，風險評估為輔助工具。採技術管制基準利用生產控制或既存方法、系統與技術，定義各種不同污染源及污染物之排放上限，藉以控制固定污染源所排放之HAPs，亦即以控制技術達成污染物排放減量，訂定污染物排放濃度或排放率為標準。採健康風險管制基準之管制策略係考量不同物種對人體健康效應，由物種排放後所致健康風險影響為判斷是否符合標準，管制可採取二種方式，分別為健康風險限值及可接受環境濃度限值 (Acceptable ambient level, AAL)。技術管制及健康風險管制方式可單獨應用，亦可組合應用。

7. 試說明固定污染源有害空氣污染物採控制技術基準之作業項目？

解答：執行控制技術基準所需之作業包括以下要項：

1. 辨識有害空氣污染物 (公告列管項目)。
2. 污染源分類。
3. 排放申報及清冊。
4. 訂定控制技術為基準之排放標準。
5. 推動提早減量計畫。
6. 殘餘風險計畫。
7. 環境監測。

8. 試說明國外用於固定污染源有害空氣污染物之控制技術基準及其訂定程序？

解答：各國採用控制策略之嚴格程度並不相同，如美國聯邦以最大可達成控制技術 (MACT) 為核心，德國則採最佳可行控制技術 (BACT)，但大致上皆由較嚴重污染源先控制，控制排放量較大。無論採何種技術基準 (MACT、BACT或T-BACT…等)，均需掌握污染源使用控制技術現況及程度。需針對不同污染源類別調查可行控制技術，以決定該類污染源採行技術之控制效能；並需對技術成本予以分析，訂定規範要求污染源改善技術或採取具較佳控制效能之技術。

9. 試說明「健康風險基準」策略之管制精神及目的？

解答：採「健康風險基準」(Health risk-based) 為管制策略係以保障人體健康及環境福祉為管制主要考量，考慮污染物對人體健康之危害程度，包括致癌性、慢性危害及急性危害。

10. 試說明以「健康風險基準」管制固定污染源有害空氣污染物排放之方法？

解答：採取「健康風險基準」管制HAPs排放之方法可分為2種：訂定健康風險標準限值及訂定環境濃度限值。

1. 訂定健康風險標準限值：污染源排放HAPs所造成之危害影響係應用模式模擬方法估算，然後決定此污染物所致危害性是否被接受，也就是藉由模式模擬結果判斷排放污染物是否超出訂定風險限值。
2. 發展環境濃度限值：經由風險評估程序可決定污染源排放有害空氣污染物所致危害性，並決定此危害影響是否被接受，接受之危害程度可應用以發展「可接受環境濃度」(Acceptable ambient concentrations, AACs) 或「可接受環境濃

度限值」(Acceptable ambient levels, AALs)，管理機關/單位可透過訂定規範要求污染源排放HAP物種所造成大氣濃度不得超過該物種之可接受環境濃度值，間接要求污染源控制HAP排放量，達成減量及降低風險之目的。

11. 試說明致癌風險評估結果之表達方式？

解答：致癌風險評估結果通常均以「個人終身致癌風險」(Maximum individual cancer risk, MICR) 表達致癌性有害空氣污染物對民眾健康影響程度；MICR標準多採10×10^{-6}或10^{-6}機率為代表，通常排放源排放HAPs至大氣環境中增加的MICR低於10^{-6}之風險可視為不重要或不具危險。MICR結合區域人口數則可獲得「致癌人口數」(Cancer burden)，通常致癌人口數超過1人便值得注意。

12. 試說明非致癌風險評估結果之表達方式？

解答：對非致癌性HAPs而言，風險評估結果通常以「危害指數」(Hazard index, HI) 表達非致癌性HAPs之影響程度，HI為各個有害污染物「危害商數」(HQ) 之加總，並分為急性危害指數 (Acute hazard index, HIA) 及慢性危害指數 (Chronic hazard index, HIC)；危害指數小於0.1即預期該項污染物不致造成危害，危害指數大於1.0則視為將造成危害而不被接受。

13. 試說明環境濃度限值訂定方法？

解答：環境濃度限值訂定通常乃採用參數值乘上不確定因子 (或稱安全係數) 之方式決定。一般而言，參數值之決定係考慮敏感族群連續暴露，或根據風險評估可接受限值，多以「職業場所標準」配合「換算因子」訂出不同暴露值及適用限值，換算因子為將勞工暴露轉換為民眾暴露。安全係數則考量物種對人體危害性(毒性影響) 及暴露時間 (1小時值、8小時值、24小時值或年平均值)。

14. 試說明固定污染源有害空氣污染物採健康風險基準之作業項目？

解答：執行健康風險基準所需之作業包括以下要項：

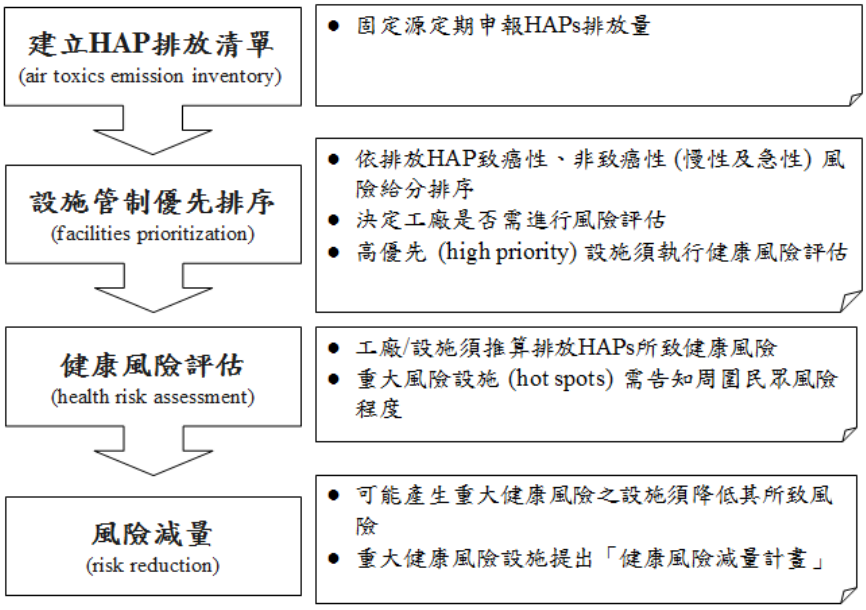
1 辨識有害空氣污染物 (公告列管項目)。

2. 排放申報及清冊。

3. 訂定風險評估程序。
4. 訂定風險模擬工具。
5. 風險管理/減量計畫。
6. 環境監測。

15. 試述加州有害空氣污染物熱點資訊及評估法之架構？

解答：1. 建立排放清單。
2. 設施管制優先性排序。
3. 健康風險評估。
4. 風險減量。



16. 試述加州有害空氣污染物熱點資訊及評估法之特色？

解答：其特色乃以達成風險減量為目的，考量物種致癌性/毒性、排放量、受體距離及/或擴散係數，進行設施評分，決定設施優先性，據以要求不同管理方法；高優先設施須進行健康風險評估程序，辨識污染物及其危害影響 (致癌風險及危害指標)，具重大風險之設施則透過風險管理要求污染源選擇控制對策以降低風險 (風險減量策略)。

2.4 有害空氣污染物之管制法規

17. 試述我國現行空氣污染管制法規中與有害空氣污染物相關法令或辦法？

解答：國內目前與有害空氣污染物相關之空氣污染管制法規可分為兩大類，一為針對一般行業 (所有固定污染源) 制定通用性之排放標準，主要以「固定污染源空氣污染物排放標準」加以規範。另一為針對行業別制定管制規範或排放標準，納管部分特定有害空氣污染物，包含有害揮發性有機物、戴奧辛類化合物、重金屬及其化合物、酸性氣體等4類。同時基於污染者付費之公平性原則，針對13種揮發性有機物個別物種加徵空氣污染防制費。

18. 試說明我國與有害揮發性有機物相關之特定行業空氣污染物排放標準及納管物種？

解答：於特定行業管制法規中與有害揮發性有機物相關之排放標準包括：

1. 半導體製造業空氣污染管制及排放標準：三氯乙烯。
2. 聚氨基甲酸酯塗布業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準：二甲基甲醯胺 (DMF)。
3. 乾洗作業空氣污染防制設施管制標準：四氯乙烯及石油系溶劑。

19. 試說明我國與戴奧辛類化合物相關之特定行業空氣污染物排放標準及納管物種？

解答：於特定行業管制法規中與戴奧辛類化合物相關之排放標準包括：

1. 廢棄物焚化爐戴奧辛管制及排放標準：戴奧辛 (含呋喃)。
2. 中小型廢棄物焚化爐戴奧辛管制及排放標準：戴奧辛 (含呋喃)。
3. 煉鋼業電弧爐戴奧辛管制及排放標準：戴奧辛 (含呋喃)。
4. 鋼鐵業燒結工場戴奧辛管制及排放標準：戴奧辛 (含呋喃)。
5. 鋼鐵業集塵灰高溫冶煉設施戴奧辛管制及排放標準：戴奧辛 (含呋喃)。

20. 試說明我國與重金屬及其化合物相關之特定行業空氣污染物排放標準及納管物種？

解答：於特定行業管制法規中與重金屬及其化合物相關之排放標準包括：

1. 廢棄物焚化爐空氣污染物排放標準：重金屬 (鉛、鎘、汞及其化合物)。

2. 鉛二次冶煉空氣污染物排放標準：重金屬 (鉛及其化合物)。
3. 電力設施空氣污染物排放標準：重金屬 (汞及其化合物)。

21. 試說明我國與酸性氣體相關之特定行業空氣污染物排放標準及納管物種？

解答：於特定行業管制法規中與酸性氣體相關之排放標準包括：

1. 半導體製造業空氣污染管制及排放標準：硝酸、氫氟酸、鹽酸、磷酸、硫酸。
2. 光電材料及元件製造業空氣污染管制及排放標準：氫氟酸、鹽酸。

22. 我國空氣污染防制費收費之揮發性有機物個別物種包括哪些項目？。

解答：加徵空氣污染防制費之16種揮發性有機物個別物種 (有害VOCs)，物種包括甲苯、二甲苯、苯、乙苯、苯乙烯、二氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、三氯甲烷 (氯仿)、1,1,1-三氯乙烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯、氯乙烯、1,3-丁二烯、丙烯腈等。

23. 空氣污染防制費之徵收方式及起徵量為何？

解答：VOCs空污費之徵收將依循既有管制體系，以全廠為計費對象，屬於同一管制編號下之製程且為本次收費範疇之VOCs排放量皆需一併計算 (非單一製程)。每一公私場所需依據廠內之VOCs排放源進行排放量計算，並將之換算為非甲烷碳氫化合物(NMHC) 進行計費；在有害VOCs物種部分則回歸個別物種之實際排放重量，再合計收費。

業者每季整廠VOCs排放量未達每季1公噸者，無須繳納VOCs及16項個別物種之空污費，但仍需進行排放量之申報作業。VOCs排放量達每季1公噸，須繳納VOCs空污費，並加計16項個別物種之費額。

24. 試說明空氣污染防制費個別物種 (有害 VOCs) 之收費費率？

解答：個別物種因應市場售價，加徵費率分為兩類：

1. 甲苯、二甲苯：25元/公斤；使用用途廣且現階段可替代性物種少，因此加徵費率較其他物種調降為5元/公斤。
2. 其他 (14種)：35元/公斤。

25. 試說明空氣污染防制費個別空氣污染物之計費方式？
解答：收費費額=個別空氣污染物排放量×收費費率。

26. 試述我國毒性化學物質管理方式？
解答：現行毒性化學物質管理採分類、分量管理；相關管理包括限制用途、使用申請、核可、登記方式，以提升管理效益。管理方面以加強查核及追蹤釋放量紀錄申報、提報減量計畫落實毒化物危害評估及預防措施，並要求第一類至第三類毒化物運作者建立危害預防及應變計畫以供查閱，降低毒化災害的發生，並保障勞工及附近民眾安全。

27. 試述環境部之毒性化學物質分類為何？
解答：

類別	化學物質特性	毒化物
第一類 (難分解物質)	在環境中不易分解或因生物蓄積、生物濃縮、生物轉化等作用，致污染環境或危害人體健康者。	六氯苯：生物濃縮性、不易分解性。 甲基汞：生物濃縮性、生物轉化。
第二類 (慢毒性物質)	有致腫瘤、生育能力受損、畸胎、遺傳因子突變化其他慢性疾病等作用者。	石綿：致癌性、致突變性。 氧化鎘：致癌性。 1,3 丁二烯：致癌性。
第三類 (急毒性物質)	化學物質經暴露，將立即危害人體健康或生物生命者。	氰化物、氯、甲醛、異氰酸甲酯等。
第四類 (疑似毒化物)	化學物質具有內分泌干擾素特性或有污染環境、危害人體健康者	二氯甲烷、氯化三丁錫等。

28. 運作毒化物必須遵守哪些規定？
解答：化學物質以其濃度及操作量來管制，經列管毒化物其濃度大於或等於管制標準時就認定為毒性化學物質，管制濃度以重量百分比表示。而運作量低於大量運作基準者，只須報經縣市主管機關核可取得核可文件即可運作，超過大量運作基準者需申請許可證及登記文件等，並依運作項目不同申請許可證，及依相關規定做毒化物管理；大量運作基準定義為任一時刻任一場所運作最大總量不得超過標準。

2.5 有害空氣污染物健康風險評估

29. 試說明以風險基準管制有害空氣污染物之二階段內容？

解答:「風險評估」(Risk assessment) 在有害空氣污染物質管制策略中，「風險」係指對人體或環境造成危害之可能性。「風險評估」主要是利用風險評估技術了解有害空氣污染物或毒化物在環境中之流布狀況，並評估其對人體健康影響之重要性；其意義為以科學化數據，資料描述某特定污染物質或排放源造成風險之形式、範圍及特性。若評估結果顯示具有影響可能，則需進行「風險管理」(Risk management)，訂定管制對策，以達到削減風險目標。以風險基準管制有害空氣污染物一般即包含「風險評估」及「風險管理」二階段作業。

30. 風險評估作業程序有哪些？

解答：風險評估作業程序包括4個步驟：

1. 危害性鑑定 (Hazard identification)。
2. 劑量效應評估 (Dose-response assessment)。
3. 暴露量評估 (Exposure assessment)。
4. 風險特徵 (Risk characterization)。

31. 何謂危害性鑑定 (Hazard identification)？

解答：危害性鑑定係定性風險評估步驟，主要乃針對化學物質毒性進行確認。進行危害性鑑定必須調查與化學物質相關之各種化學、生物資料，了解該物質是否具有致癌潛勢或其他健康效應。由於化學物質很少以純物質狀態存在，且常在進入人體後轉化為其他代謝物，因此，進行危害性鑑定除需考慮標的污染物質外，尚需考慮其衍生產物及代謝產物之影響。

32. 何謂劑量反應評估 (Dose-response assessment)？

解答：劑量效應評估係於定量資料適用且有效情況下以流行病學方法基礎，或以動物實驗資料為基礎，估算受體承納劑量與健康效應之關係。由於在一般民眾於大氣環境濃度水準所致暴露劑量多屬低暴露量程度，無法直接藉由動物實驗或流行病學研究結果來評估其致癌效應，因此，大多藉由已發展數學模式經外插方式估算低劑量暴露所致風險，因而產生極大不確定性。

33. 何謂暴露量評估 (Exposure assessment)？

解答：暴露量評估乃指「量測或估計受體暴露在特定化學物質期間、頻率及強度過程而可能增加之假設 (Hypothetical) 暴露量」。完整之暴露量評估應描述暴露濃度、期間、頻率及途徑，以及量測或估計過程之不確定性 (Uncertainties)。暴露量評估所涵蓋工作項目極多，首要工作為決定暴露族群所暴露化學物質濃度。化學物質濃度可由直接量測或運用適當模式估計。

34. 何謂風險特徵 (Risk characterization)？

解答：風險特徵係針對危害性鑑定、劑量效應評估及暴露量評估所得結果綜合分析估計各種暴露狀況對人體健康潛在產生危害性之預測數值。預測過程應用各種未知數之推論或假定，均應提出合理解釋，對於所採用推測模式亦應詳細說明。執行過程採用愈多已知數據，愈少假設與推估，風險特徵評估結果準確度愈高。

35. 試說明致癌性風險評估 (吸入途徑暴露)-「個人終身致癌風險」評估方式？

解答：個人終身致癌風險 (MICR) 之計算方法有2種：

1. 方法一：以暴露劑量 (Exposure dose) 與致癌潛勢斜率 (SF) 估算

   個人終身致癌風險=暴露劑量×致癌潛勢斜率

   $$=\{\frac{Cair\times D_{BR}\times A\times EF}{BW}\times\frac{ED}{AT}\times 10^{-6}\}\times SF$$

   C_{air}：該致癌物質於環境大氣之濃度值 (mg/m^3)

   D_{BR}：每日呼吸量 (L/kg-day)

   A：該致癌物質吸入途徑之吸收效率 (%)

   EF：暴露頻率 (days/year)

   BW：人體平均體重 (kg)

   ED：暴露期間

   AT：人體平均暴露時間 (如 70 年)

   SF：潛勢斜率，暴露每單位劑量所增加風險度 $(\mu g/kg\text{-}day)^{-1}$

2. 方法二：以該物種暴露濃度與其吸入性單位風險值估算

   個人終身致癌風險=$C_{air\text{-}annual}$×=Unit risk

   $C_{air\text{-}annual}$：該致癌物質之年均濃度 ($\mu g/m^3$)

   Unit risk：該致癌物質之吸入性單位風險值 $(\mu g/m^3)^{-1}$

36. 試說明致癌性風險評估 (吸入途徑暴露)-致癌人口數評估方式？

解答：致癌人口數 (Cancer burden) 之計算方法為

暴露於某致癌物之致癌人口數=個人終身致癌風險×暴露範圍之人口數

37. 試說明非致癌性風險評估 (吸入途徑暴露) 評估方式？

解答：對非致癌性物種之人體健康危害風險評估是以「危害商數」(Hazard quotient, HQ) 及「危害指數」(Hazard index, HI) 來表達

1. 單一物質暴露：

   危害商數 (HQ)=C_{air}÷RfC

   C_{air}：暴露濃度；有害空氣污染物於環境大氣中之最大小時濃度 (急性暴露) 或年平均濃度 (慢性暴露) ($\mu g/m^3$)

   RfC：參考暴露濃度 ($\mu g/m^3$)

2. 多種物質暴露：當同時暴露於多種有害空氣污染物，假設其危害性具有加成性，將每種物質個別危害商數相加，獲得危害指數(HI)。不同物質對不同器官之HI應分別計算。

   危害指數 ($HI_{器官i}$)=$HQ_{substance1(器官i)}$+$HQ_{substance2(器官i)}$+…

   HQ：各污染物影響 i 器官危害商數

   HI：所有污染物影響 i 器官危害商數加總值

38. 參考加州空氣資源管理局 (ARB) 之「風險減量計畫準備指引手冊」所述之風險減量計畫準備步驟可分為哪些？

解答：1. 找出造成風險之化學品及來源。

2. 找出降低風險之方法。
3. 決定可以降低風險之措施。
4. 提出風險減量計畫。

39. 排放源執行風險評估應注意哪些事項？

解答：固定源在執行有害空氣污染物健康風險評估作業時，有害物種的排放量資料為關鍵。參考美國執行經驗，通常在申請許可時，排放量會以最大操作條件下可能排放之各項HAPs物種排放量為估算風險值之資料，且須包括所有可能排放源，管道及逸散源排放皆須納入。於定期檢視健康風險時，會結合排放量申報系統，於排放源申報列管之HAPs物種排放量時，以申報排放量進行風險值估算。暴露濃度 (C_{air}) 則是以最大落地濃度值為計算基準，於計算致癌風險及慢性危害時採用最大年平均濃度值，

計算急性危害時則為最大小時濃度值。非致癌性風險評估結果彙整時，是以不同物種於相同目標器官別之影響程度加總作為判斷是否可被接受的評估依據。

2.6 有害空氣污染物之檢測

40. 試述有害空氣污染物檢測類型及目的？

解答：有害空氣污染物檢測類型可分為固定污染源 (管道排放、逸散源)以及周界大氣等，其目的包括確認法規符合度 (管道標準、周界標準)、提供計算排放量、瞭解環境大氣濃度 (受體暴露濃度)，乃至於建立排放係數之用。

41. 固定污染源揮發性有機物常用之檢測方法有哪些？

解答：1. 排放管道

(1) NIEA A722.76B「排放管道中氣態有機化合物檢測方法-採樣袋採樣/氣相層析火焰離子化偵測法」

(2) NIEA A734.70B「排放管道中C5-C10非極性氣態有機物檢測方法-採樣袋採樣/氣相層析質譜分析法」。

2. 逸散源

(1) 設備元件洩漏測定方法為「揮發性有機物洩漏測定方法-火焰離子化偵測法」(NIEA A706.73C)。

(2) 為獲得設備元件洩漏之揮發性有機物物種成分，可採「設備元件揮發性有機物洩漏率-圍封採樣方法」(NIEA A736.71C)，以惰性材質之圍封袋將待測設備元件密閉包覆後，定流量空氣導入圍封袋內，待袋內VOCs濃度達穩定，再以採氣袋採集樣品，所採樣品經檢驗室之分析儀器偵測樣品中VOCs濃度；分析方法可採NIEA A722.76B或NIEA A734.70B，以獲得VOCs物種成分。

(3) 廢水處理池逸散揮發性有機化合物之測定方法為「廢水處理池逸散揮發性有機化合物採樣方法」(NIEA A739.70B)。

42. 常用周界及環境大氣之揮發性有機物有何種檢測方法？

解答：NIEA A715.15B「空氣中揮發性有機化合物檢測方法-不鏽鋼採樣筒/氣相層析質譜儀法」。

43. 常用周界及環境大氣之醛酮類化合物有何種檢測方法？

解答：NIEA A705.12C「空氣中氣態之醛類化合物檢驗方法-以DNPH衍生物之高效能液相層析測定法」。

44. 周界及環境大氣之戴奧辛及呋喃有何種檢測方法？

解答：A809.11B「空氣中戴奧辛及呋喃採樣方法」及A810.13B「空氣中戴奧辛及呋喃檢測方法」。

45. 常用之周界及環境大氣重金屬檢測方法有哪些？

解答：

污染物類型	方法編號 (NIEA)	方法名稱
重金屬採樣方法	A102.13A	空氣中粒狀污染物檢測法-高量採樣法
	A205.11C	空氣中懸浮微粒 ($PM_{2.5}$) 檢測方法-手動採樣法
	A208.13C	空氣中懸浮微粒 (PM_{10})之檢測方法-手動法
重金屬分析方法	A305.11C	空氣中粒狀污染物之微量元素檢測方法-感應耦合電漿質譜儀法
	A306.10C	空氣粒狀污染物中元素含量檢測方法-感應耦合電漿原子發射光譜法
	A307.10C	空氣粒狀污染物中金屬含量檢測方法-原子吸收光譜法
	A309.11B	空氣中六價鉻檢測方法

參、有害空氣污染物排放源及控制技術

3.1 有機性有害空氣污染物

46. 試述揮發性有機物特性及可能來源？

解答：一般揮發性有機物 (VOCs) 的定義為常溫 (20℃)、常壓 (1 atm) 下，有機物蒸氣壓力大於0.1 mmHg之有機物。多數VOCs因其沸點低且飽和蒸汽壓大易於常溫下由液態揮發成氣態逸散至大氣，因此較不易控制，也因此可能增加人體暴露吸入機率，易對人體產生危害。近年來對VOCs的管制及改善越趨重視，其中有部分VOCs具毒性較高，具急毒性或慢毒性易對人體健康產生威脅。VOCs可經由呼吸、接觸與食入方式進入人體呼吸及神經系統、內臟系統等，可能引起身體不適，並可能有致癌性、致畸胎性與致突變性增加。

國內外有害空氣污染物排放資料皆顯示揮發性有機物 (VOCs) 為主要物種，且其中許多物種屬已知或可能之人體致癌物，如苯、1,3-丁二烯、氯乙烯、甲醛、環氧乙烷、三氯乙烯等屬IARC

列出之已知人體致癌物；二氯甲烷、乙苯、苯乙烯、丙烯腈、氯仿、乙醛等為很可能 (2A) 或可能 (2B) 為人體致癌物。甲苯、二甲苯、1,1,1-三氯乙烯等雖尚未證明對人體具有致癌性，但對人體健康亦具有不良健康影響，且為常見之溶劑，普遍使用於石化業或生活用品中；對民眾健康影響不容小覷。

屬揮發性有機污染物之化合物眾多，因此其產生源複雜，舉凡交通工具、化工業、石油產業、塑膠業及其餐廚食品業等等，都為產生源。煉油製程、有機化學品製造、塑/橡膠製造、鋼鐵業煉焦製程、表面塗裝程序等等則為排放量較大之行業別。

47. 試述多環芳香烴化合物特性及可能來源？

解答：多環芳香烴化合物 (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 因有多項物種被判定具致癌性與致突變性，近年來愈來愈被重視。PAHs為僅由碳原子及氫原子構成且擁有兩個或以上苯環之化學結構物，同一分子式具多種同分異構物，PAHs為其總稱，因其穩固化學結構，在自然界中穩定不易自行分解。多環性芳香化合物常發現在空氣懸浮微粒中，多數PAHs具高熔點、高沸點及低飽和蒸汽壓特性。

PAHs形成機制複雜，主要由不完全燃燒生成，主要機制為碳化及熱裂解，氣相中PAHs以蒸氣形態存在，部分會因凝結作用吸附於微粒表面成為粒狀相PAHs，PAHs反應活性不高，在環境中穩定，但進入大氣後會吸收可見光及紫外光能量形成解離態或激態，與大氣中其他污染物 (O_3、NOx) 反應生成衍生物 (氧化多環芳香烴、硝化多環芳香烴)，其毒性可能高於原本PAHs。

48. 試說明揮發性有機物控制技術？

解答：有害揮發性有機污染物控制技術可分為破壞性控制技術與非破壞性控制技術。破壞性控制技術處理方式為焚化技術、化學反應與生物處理；利用高溫設備 (如：直火燃燒、觸媒焚化、蓄熱式焚化等) 在足夠氧氣、溫度、停留時間條件下，將有害物質轉化為無害成分；燃燒方法主要優點為能破壞大部分毒性空氣污染物，但處理設備費用高，需專業操作人員，處理不當可能衍生其他污染問題。生物處理適合低濃度廢氣 (如：VOCs濃度低於1,000 ppm)，可應用設備如：生物濾床、生物滴濾塔、生物洗滌法等。

非破壞性控制有吸收法、吸附法、冷凝法、濃縮處理、集塵設備等，其優點於設備費用較便宜，但其選擇性，需針對污染物特性選用適當方式，處理效率大部分較破壞性控制方法為低。

49. 試述有機性有害空氣污染物熱焚化法之基本原理？
解答：熱焚化法是直接燃燒破壞排放氣體，在一迅速、高溫之氣相反應下氧化污染物。對氣體流線中大部分有機污染物是一有效的破壞方法，且較不受污染物及排放氣流特性影響。

50. 試述有機性有害空氣污染物熱焚化法之操作條件。
解答：設計良好及適當操作之焚化爐，對大部分有機化合物之破壞率可達99%以上。熱焚化爐通常設計之操作溫度為650~870℃，燃燒區最短停留時間為0.5~1秒；大多數有害廢棄物焚化爐操作溫度為980~1,200℃，以確保廢氣中之多數有害物質燃燒完成。一般在最小操作溫度870℃，停留時間至少0.75秒的條件下，就可達成破壞率99%以上。

51. 試述有機性有害空氣污染物觸媒焚化法之基本原理？
解答：觸媒焚化法之設計和熱焚化法相似，但在較低溫下使用觸媒增加空氣污染物的氧化反應。當預熱氣體進入觸媒床時，會被吸附在觸媒表面，進而被觸媒孔隙吸附，並在活性位置 (Active site) 發生反應；反應後產物自活性位置脫附進入廢氣中，處理後廢氣先經熱回收設備回收熱能後再排至大氣。

52. 觸媒焚化法常用之觸媒有哪些？
解答：一般觸媒包括有鉑 (Pt)、鈀 (Pd)、鉻酸銅 ($CuCrO_4$)、氧化銅 (CuO)、鉻 (Cr)、鎂 (Mg) 及鎳 (Ni)，若未含有鹵化物或硫化物時可以中間金屬 (如：氧化鎂) 代替貴金屬為觸媒。

53. 試述化學洗滌法去除污染物的機制？
解答：化學洗滌法將污染物去除，可由以下任一機制或由多種機制達成：
1. 將污染物成分冷凝而去除。
2. 污染物成分吸附於粒狀物，藉除去粒狀物同時除去污染物。

3. 污染物成分溶於吸收液而除去。
4. 污染物成分與洗滌液化學藥品反應，形成較無害產物。
5. 氣相氧化劑與污染物成分反應，形成較無害產物。

54. 試述以生物濾床法處理有害空氣污染物之機制？
解答：污染物進入濾料後被其中的微生物分解，主要利用固定化生物膜與有機物進行界面接觸後，把氣相中有機物傳輸至液相或固相生物膜，由微生物吸收進行生物氧化分解，轉化成二氧化碳、水等最終產物。低分子量及結構簡單之高水溶性有機物較具生物分解性，而結構較複雜的有機物則較難分解，如醛、酮及醇等結構較簡單的芳香族類，已被確認具有生物分解性。而無機物如硫化氫、氨及硫醇等也易被分解，而多氯烴及多環芳香類等物質則較難被生物分解。

55. 試述有害空氣污染物生物法之優缺點？
解答：利用生物法處理空氣污染物之優點為成本低廉、無二次污染之虞，對環境友善度高；但所需占地面積較大，實場應用時，需考量微生物之馴養時間，廢氣成分過於複雜時較不適用。

56. 試說明氯乙烯單體控制技術？
解答：氯乙烯單體一般採用焚化法控制，在700°C~1,300°C和0.5~1.5秒滯留時間，去除效率可達98%以上。使用觸媒焚化法，操作溫度450°C時可達到95%以上去除效率，但需考慮氯乙烯單體可使造成觸媒毒化而降低活性並影響去除效率。製程改善也為污染物控制技術，採氯乙烯製程改善除可改善廢氣問題也可降低原料成本；廢氣利用活性碳吸附回收再生、冷凝回收再生或使用溶劑吸收後氣提回收使用。

57. 試說明甲醛污染物處理技術？
解答：工業廢氣含甲醛處理方式主要為燃燒破壞去除，使用直火燃燒技術，滯留時間1.0秒、處理溫度650°C時，去除效率可達90%以上。使用觸媒燃燒法，在觸媒溫度350°C時亦可達到良好去除效果。含甲醛廢氣可用水洗及燃燒去除，但甲醛熱值不高，廢氣燃燒時可能需添加燃料助燃。

甲醛於大氣中主要反應機制為光解及自由基反應，因此，光解及光觸媒為處理低濃度甲醛廢氣常見之去除機制。活性碳對甲醛較不適用，多數添加觸媒助其氧化去除，而金屬氧化物如二氧化錳能於室溫下與甲醛反應成無害產物，可做室內清淨設備應用，也有多種研究結合觸媒、臭氧及光解等機制去除甲醛。甲醛為常見室內空氣污染物，室內空氣清淨機去除機制為光催化、光觸媒及吸附等，栽種特定盆栽對甲醛也有良好去除效果，使用新家具時建議打開門窗，增加通風換氣使室內甲醛濃度降低。

58. 試說明多環芳香烴化合物控制技術？

解答：PAHs控制技術，可分為燃燒控制減少多環芳香烴化合物形成，如於燃燒時添加礦石粉、酵素等物質降低多環芳香烴化合物生成量，或於燃燒尾氣管道以低溫觸媒填充床進行低溫觸媒氧化分解，常見以活性碳吸附去除附著於微粒上之PAHs，相關研究使用具大孔隙體積之吸收劑對PAHs進行吸收，結果顯示高孔隙體積之含碳物質其吸附能力越高，分子量較高之PAHs較易被吸收；但具較高揮發性之多環芳香烴化合物存於氣相中可能隨廢氣排至大氣。

3.2 重金屬及其化合物

59. 試述重金屬氣體特性及可能來源？

解答：大氣環境之金屬元素主要吸附於粒狀物表面，人體吸入後因粒徑大小於不同地方沉積，金屬元素進入體內後，移動途徑可分為兩種，與紅血球結合者移動較慢如鉛，與血漿結合移動較快如汞，當人體暴露於高濃度重金屬物質會產生不可逆之急毒性，長時間於低濃度則有慢性中毒現象產生。

含重金屬氣體來源可分為固定污染污源，如焚化爐、發電廠、鋼鐵業及水泥業等諸種高溫製程，金屬工業、露天燃燒及一般地面揚塵等亦為可能來源。

60. 試說明廢氣中重金屬之去除機制？

解答：高溫情形下產生之重金屬為揮發性重金屬，因廢氣溫度降低經凝結形成微粒，被除塵設備去除；含重金屬物料經由高溫焚化程序會揮發並存於廢氣，廢氣經過冷卻及熱回收設備，部分重金屬因凝結或吸附作用而被除塵設備去除，廢氣通過集塵設備

之溫度愈低，重金屬成分去除效果愈佳。飽和溫度較低的重金屬元素雖無法達到凝結之條件，但因飛灰表面的催化作用，反應形成飽和溫度較高、較易凝結的氧化物及氯化物經除塵設備去除。氣態存在之重金屬以活性碳吸附經粒狀處理設備收集去除，水溶性金屬氯化物可藉由溼式洗滌去除。

3.3 戴奧辛及呋喃

61. 試述戴奧辛及呋喃來源及特性。

解答：戴奧辛 (PCDD, Dioxins) 是以一個或兩個氧原子聯結一對苯環類化合物的統稱，共75種同源物；呋喃 (PCDF, Furans) 則為135種多氯二聯苯呋喃同源物統稱，其中在2,3,7,8取代位置的PCDDs/PCDFs較具毒性 (共17個)。

戴奧辛水溶性不佳且相當穩定；低氯 (3個氯以下) 者其揮發性較大，但隨氯數增加，揮發性降低。戴奧辛除穩定於生態環境中不易分解外，親脂性高且抗代謝特性，故進生物體後容易累積脂肪不易排出，又因生物濃縮作用隨食物鏈層級，生物體濃度漸高，其途徑如海洋污染使浮游生物體內含有戴奧辛，再經由魚類進入人體內。

大氣中戴奧辛來源多為人類活動造成，金屬冶煉、焚化爐、能源產業及化工廠等都為排放源；燃燒為戴奧辛主要產生源，如露天燃燒、森林火災可在製造殺蟲劑、木材防腐劑等含氯化合物、造紙染整等使用氯漂白時生成及廢棄物焚化等，因臺灣塑膠製品使用量大，焚化垃圾 (塑膠袋等) 產生戴奧辛的機率也較高。

62. 試說明戴奧辛於燃燒中生成機制？

解答：1. 含有加氯的前驅物如氯苯、氯酚和聯苯類的氯聚合物的物質經高溫燃燒後氣相反應生成。
2. 氣相反應中氯的前驅物與飛灰中分子發生異向縮合反應和在飛灰表面上金屬氯化物與飛灰中分子的異相催化反應。
3. 飛灰所含的巨大的碳分子 (殘留碳)、有機氯或無機氯及催化物質 (Cu及Fe等) 的混合基質進行低溫再合成 (De novo synthesis) 而形成 (250~400℃)。

63. 試說明戴奧辛控制技術？

解答：戴奧辛控制技術主要為避免戴奧辛生成及尾氣處理，如減少熱焚化含氯物質使前驅物減少、控制燃燒溫度於850℃並充分混勻提供足夠滯留時間可有效破壞分解戴奧辛、增設洗滌塔去除前驅物、添加戴奧辛抑制劑可有效降低戴奧辛生成等都為製程減量技術。

1. 增加爐內破壞效率：燃燒不完全之現象為焚化廢氣中產生PCDD/PCDF之主要原因，燃燒溫度600~650℃以上，戴奧辛破壞反應之趨勢大於生成反應，若燃燒溫度900~1,000℃以上，則戴奧辛完全破壞。為減少PCDD/PCDF於爐內合成，藉由最佳之燃燒狀況以達到廢棄物完全燃燒，於高溫下分解破壞PCDD、PCDF及避免其先驅物質之產生。
2. 爐體燃燒室應考量廢氣流場增加混合度：燃燒室容積應足夠，機械混燒或爐床之二次噴嘴下游以上容積應滿足850℃之操作溫度最少滯留時間2秒以上，鍋爐出口含氧量6%以上，若溫度不足則啟動輔助燃燒器，以維持燃燒溫度；二次助燃空氣噴入量、噴入位置、噴嘴數量及出口流速應考量提供足夠之混合度及風量，以使燃燒廢氣和助燃空氣有良好之混合效果。
3. 避免爐外低溫再度合成：研究顯示廢氣溫度在250~400℃時PCDD/PCDF有再合成產生之現象。因此，假若避開此溫度區間即能有效降低戴奧辛的生成。驟冷技術為將廢氣溫度迅速降溫到200℃低溫下，可有效控制戴奧辛生成，為現行常見控制技術之一。低溫合成發生區域多發生於鍋爐部分，因此若採用靜電除塵設備亦有合成產生現象，增加吹灰次數及良好之吹灰系統設計，以減少積灰情形，也可避免爐外低溫再度合成。

3.4 酸鹼氣體

64. 試述酸性氣體特性及來源？

解答：常見酸性氣體包括硝酸、鹽酸、硫酸、磷酸、氫氟酸等；酸氣排放源主要於化工、冶金、機械製造、半導體等眾多工業，如酸洗、電鍍及電解等製程產生。鹽酸氣主要氯鹼、鹽酸及酸洗等工業；硫酸氣來於製酸、濃縮稀硫酸及鉛蓄電池等；磷酸氣產於磷酸及磷肥生產等、硝酸氣來於化工、肥料廠等。半導體及光電產業也於清洗晶片或機台等製程產生大量無機酸廢氣，焚化燃燒過程也易產生混合酸氣。酸分子於酸溶液表面蒸發至

空氣吸收水分凝結成霧滴成為酸霧，或附著於微粒形成氣懸膠。

65. 試述鹼性氣體特性及來源？

解答：常見鹼性氣體則有氨氣、氯氣等。氨 (NH_3) 是無色具腐蝕性有刺激性氣味氣體，久未打掃的廁所臭味就為氨味；畜牧業、堆肥場、肥料工廠廢氣為常見氨污染源。氨為食物及肥料的重要成分，也常用於藥物合成，主要常見工業用途為肥料、硝酸、冷凍劑、合成纖維、防腐劑及玻璃清潔劑等製造，有80%的氨被用來製造肥料。氨水溶性佳、溶於水中為鹼性，氨水溶液會使物體表面光亮，常作為玻璃清潔劑，但必須小心不能與含氯清潔劑混用如漂白水，否會反應生成有毒物如氯胺。氯氣 (Cl_2) 為黃綠色氣體，有明顯消毒味，氯原子間的鍵結力弱，使得氯分子具有高度反應性，為強氧化劑，常用來淨化水質及游泳池消毒。氯用途廣泛，為乾洗劑、金屬去漬劑、染料及殺蟲劑等原料。氯氣與水氣反應可能生成鹽酸，生成鹽酸，腐蝕管線造成氯氣外洩的工安意外。

66. 試說明酸性氣體控制技術？

解答：酸氣不可燃，多易溶於水，可用水吸收但其耗損水量較大，故採用鹼液吸收中和之去除效率較佳，常用鹼吸收液有Na_2CO_3、NaOH、NH_4等，去除方式有數種如溼式吸收、半乾式洗滌及溼式集塵等，其中半乾式洗滌法利用霧化器，將吸收液霧化成直徑約數十微米的小液滴，液滴再與廢氣接觸，大接觸面積使質傳和熱傳效率佳，液滴因吸收廢氣的熱而溫度上升，酸氣則透過液氣界面和吸收劑作用，液滴水分則因吸收熱量而漸蒸發，液滴到達塔的底部時，水分已經全部蒸發成乾粉狀態。

67. 試說明氨氣控制技術。

解答：氨氣水溶性極高，處理方式通常選用吸收法。常用吸收劑為水 (在75°F以下) 或硫酸溶液，處理效率可高達95~97%。氨氣為具單鍵低分子量溶解性佳之化合物，生物分解性佳，亦適用於生物處理法；生物洗滌、生物濾床及生物滴濾塔於實廠處理案例相當豐碩多數去除率高達95%，其生物處理技術純熟，氨經微生物代謝後產生硝酸鹽，會使生物環境酸鹼值降低，可於濾料或營養液內加入酸鹼緩衝劑如碳酸氫鈉，使酸鹼維持平衡，但高

濃度廢氣時其代謝產物硝酸鹽可能因緩衝不及致累積於環境中不易去除，因此較不適用。

68. 試說明氯氣控制技術？

解答：氯氣可利用化學吸收去除，常用鹼性吸收液為氫氧化鈉及碳酸鈉，文式洗滌塔及填充洗滌塔皆適用，此技術發展成熟且去除效果穩定良好。由於氯氣遇水氣會形成氯化氫，其設備材質需注意抗酸鹼程度，避免設備因其腐蝕可能造成氯氣洩漏或損壞率高。

69. 試說明含硼族氣體之控制技術？

解答：而含硼族氣體如硼化氫 (B_2H_6)、丁硼烷 (B_4H_{10}) 可用水或鹼液洗淨法處理；而硼化氫可當做硼酸加以除去，氟化硼 (BF_3)、氯化硼 (BCl_3) 則添加化學氧化劑 (次氯酸鈉等) 洗淨或用鹼液洗淨法處理。

70. 試說明含矽氣體之控制技術？

解答：含矽甲烷 (SiH_4)、二氯矽甲烷 (SiH_2Cl_2) 等廢氣，可用水或鹼液洗淨來處理，對於矽烷類廢氣，可用氮氣稀釋，經空氣氧化後，再用水或鹼液洗淨法處理。

國家環境研究院 National Environmental Research Academy