粒狀污染物防制技術原理及實務練習題（乙級）

貳、粒狀污染物及其控制技術簡介

2.1 粒狀物（微粒）之定義

1. 請詳細說明何謂粒狀污染物的氣動直徑 (Aerodynamic Diameter)，並說明其在空氣污染控制上的重要性。

   解答：氣動直徑定義為在空氣中與待測微粒有相同終端沉降速度、但密度為 1 g/cm³（標準密度）的圓形粒子直徑。此概念重要在於提供統一的尺度，便於不同物理特性的微粒進行比較，特別用於評估和選擇合適的污染物控制設備。

2.2 粒狀污染物的特性

2. 微粒依據其形態分類，可分為結實微粒、空心微粒及鬆散微粒，請分別說明其特徵。

   解答：結實微粒：內部緊密無空隙，表面平滑；空心微粒：內部中空，內含氣體，表面可能平滑或略有凹陷；鬆散微粒：微粒本身結構鬆散多孔，內外皆有顯著凹凸不平，容易碎裂或變形。

3. 在粒狀污染物的測量方法中，直接量測法與間接量測法有什麼不同，並各舉一例？

   解答：直接量測法是直接觀察或測量微粒的實際大小或影像，例如使用光學顯微鏡直接觀察並測量微粒；間接量測法則是透過微粒行為或物理性質間接推估粒徑，例如沉降室法透過沉降速度計算微粒粒徑。

4. 請比較燃油與燃煤火力發電廠所產生飛灰的外觀差異。

   解答：燃油火力發電廠產生的飛灰通常為表面粗糙、有孔洞的黑色球體；燃煤火力發電廠排放的飛灰則為表面光滑的球體，且粒徑通常比燃油產生的更小。

5. 如何藉由化學成分判別粒狀污染物的來源？請舉例說明。

   解答：透過元素組成可判別污染來源，例如：燃油發電廠排放的粒子中常含矽與鋁；花粉與孢子則含有較高的鉀元素；鋼鐵廠產生的塊狀粒子則富含鐵元素。

2.3 粒狀污染物的健康危害

6. 試說明粒狀污染物為什麼會對人體健康造成危害，尤其是 $PM_{2.5}$ 的影響。

解答：粒狀污染物之所以對健康有害，主要因為其細小尺寸能穿透呼吸系統，特別是 $PM_{2.5}$（細懸浮微粒），其粒徑非常小（小於等於 2.5 μm），可深入肺泡甚至進入血液循環系統，增加心肺疾病及癌症等疾病的風險。

2.4粒狀污染物的產生源及排放標準

7. 請定義氣膠（氣溶膠）並說明其組成與懸浮特性。

解答：氣膠（Aerosol 或氣溶膠）是存在於大氣中的微小懸浮粒子，肉眼通常無法看見。其成分類似於煙霧，包括塵埃、海鹽、有害氧化物（如氧化氮、SO_2）、揮發性有機化合物與硝酸鹽等。其直徑通常在 1 至 10 微米之間，甚至可小至 0.1 微米。由於粒徑極小，這些微粒可長時間懸浮在空氣中，甚至持續數週，僅能透過降雨「洗淨」而被移除。

8. 粒狀污染物的來源可分為哪兩大類？請分別舉例說明。

解答：粒狀污染物的來源可分為「自然來源」與「人為來源」：

1. 自然來源包括火山灰、森林火災煙霧、沙塵、海洋飛沫、土壤侵蝕與生物性微粒（如花粉、孢子、微生物等）。
2. 人為來源則包括燃料燃燒、工業製程、交通廢氣排放、廢棄物焚化等。例如火力發電廠、工廠、車輛排放等皆屬人為固定或移動污染源。

9. 何謂同相核凝與異相核凝？其常見來源為何？

解答：同相核凝是指氣態物質冷卻至露點後相互凝結成微粒；異相核凝則是氣體凝結在既有粒子上形成更大粒子。常見來源包括廢氣中揮發的有機蒸氣與金屬蒸氣，如水銀、鉛、鎘等，這些氣體經冷卻裝置後形成粒徑約為 0.05-1.0 微米的粒狀物。

2.5 粒狀污染物的控制設備與系統

10. 選擇空氣污染控制設備時，最常依據哪三大類因素進行綜合評估？

解答：主要考量三大類因素：工程因素、經濟因素與空間因素。工程因素涉及污染物與廢氣特性、其他工程因素等；經濟因素涵蓋設置

與操作成本、設備預期使用年限及廢棄後的剩餘價值等；空間因素則與安裝位置與可用空間等。

11. 操作環境條件如何影響污染控制設備的選擇？請列舉至少 3 項工程因素。

解答：重要的工程條件包括：處理風量與廢氣溫度；系統壓差與能耗；設備的穩定性與未來法規彈性。這些會直接影響系統效能與維修需求。

12. 為何在空氣污染控制設備前需加裝溫度調理器？

解答：廢氣在進入控制設備前，如溫度過高或過低，可能會降低處理效率或損壞設備。因此需透過溫度調理，確保氣體溫度落在設備可承受或運作最佳的溫度範圍內。例如：高溫可能造成濾袋破裂，低溫則可能產生冷凝水而導致腐蝕或堵塞。

13. 若廢氣溫度過高，對袋式集塵器或靜電集塵器可能造成什麼影響？常見降溫方式有哪些？

解答：若廢氣溫度過高，對袋式集塵器會導致濾袋燒損或破裂，對靜電集塵器則會降低收塵效率。常見降溫方式包括氣冷或水冷系統，可採用直接冷卻或間接冷卻等方法。調降溫度時亦需考慮設備材料的耐熱範圍與濾袋更換成本。

參、集排氣系統

3.2 局部排氣系統簡介

14. 說明整體換氣系統與局部排氣系統的差異，並指出何種系統在工業排氣源控制中較常使用？為什麼？

解答：整體換氣系統是針對整個作業空間進行換氣稀釋污染物；局部排氣系統則是在污染源處設置集氣罩直接捕集。局部排氣系統較常用，因其效率高、能直接移除污染物，避免擴散至室內其他區域。

15. 說明何謂局部排氣系統中的“有效集氣範圍”，並說明其對系統操作的意義。

解答：有效集氣範圍指罩口前方可有效捕集污染物的空間範圍，其取決於罩口風速及擴散特性。若超出範圍，污染物無法有效被吸入系

統中，導致逸散與控制失效。

3.3 氣罩

16. 集氣罩設計時需考慮哪些要素？試說明其對捕集效率的影響。

解答：設計集氣罩時需考慮罩口形狀、尺寸、位置、罩口風速、作業人員干擾及污染物擴散性質等。若罩口風速不足或罩口位置不當，將降低污染物捕集效率並導致逸散。

17. 請說明設計集氣罩時，何謂“干擾氣流”，其來源及對控制效果的影響為何？

解答：干擾氣流指來自門窗、空調、作業動作等外部氣流，會改變罩口前氣流方向，使污染物逸散而無法被罩口吸入，降低控制效率，設計時應避免風流干擾。

3.4 風管

18. 試說明集排氣系統中風管設計需注意的要點，並說明其對整體系統效能的影響。

解答：風管設計須考量直徑、長度、彎頭數、支管布局與材質等。風管過長或彎頭過多會造成阻力損失，需增加風機負載，降低系統效率。適當設計可提升氣流均勻性與整體捕集效率。

3.5 風車

19. 試說明排氣風機在集排氣系統中扮演的角色及其選型時需注意哪些因素？

解答：風機提供系統所需靜壓與風量，是驅動整體排氣的核心設備。選型時須考量總壓損、系統風量、風管配置與安裝位置，確保足夠抽吸力並降低能耗與噪音。

20. 在集排氣系統設計中，為何需設置氣體淨化設備於風機之後？其功能為何？

解答：氣體淨化設備設於風機之後可避免氣體經風機後產生額外污染或損壞設備。其功能為移除氣體中污染物（如粒狀物、有害氣體等），確保排放氣體達標。

3.7 系統設計之優先次序

21. 請說明集排氣系統操作維護的重要性與常見維護項目。

解答：系統需定期檢查罩口風速、風管漏氣、濾網阻塞與風機運轉狀況，確保系統長期穩定運作。若忽略維護，易導致效率降低、能耗上升或污染逸散。

肆、旋風集塵器

4.1 簡介

22. 請說明旋風集塵器的基本操作原理，並簡述其適用的微粒特性。

解答：旋風集塵器利用氣流進入設備後產生旋轉離心力，將密度較高的粒狀物拋向器壁並沿壁面沉降至集塵區域。該設備適用於中至大粒徑、比重較高之粒子，對小粒徑微粒的效率相對較低。

4.2 旋風集塵器之種類及構造

23. 試說明影響旋風集塵器除塵效率的主要操作參數有哪些？

解答：主要影響參數包括入口氣流速度、粒徑大小、設備尺寸（如直徑與長度）、進氣管設計及內錐角度等。進氣速度過低會降低離心力，過高則可能造成再飛揚，須適當控制。

24. 為何旋風集塵器進氣管設計會影響集塵效率？應避免哪些不當設計？

解答：進氣管若過長或突變接頭設計不良，將造成氣流不穩定，導致旋轉流場混亂而降低除塵效率。此外，避免氣流死角與不對稱流場以維持穩定氣旋結構。

25. 請說明旋風集塵器中“短筒設計”與“長筒設計”的差異及其效能影響。

解答：長筒設計可提供更長旋轉路徑，有助於粒子分離與沉降，提高集塵效率；但占用空間較大。短筒設計雖體積小，卻可能降低停留時間與分離效率。設計上需權衡效率與空間限制。

26. 旋風集塵器在多筒式 (Multi-Cyclone) 設計中有何優勢？請說明其應用場景。

解答：多筒式設計可使單位氣體流量被分流至多個小型旋風器內，提升整體處理效率與細粒子移除能力，常用於鍋爐前級處理及中等污染物濃度場域中，空間配置亦較具彈性。

27. 試說明旋風集塵器的壓力損失機制及其控制方式。
解答：壓力損失主要來自氣流在進氣管、旋轉氣旋與排氣管的流動摩擦及方向變化。控制方法包括優化進氣設計、減少彎頭與縮短風路，以及使用內表面光滑材質。

28. 旋風集塵器在應用於高溫氣體處理時需注意哪些設計與材料選用原則？
解答：應選用耐高溫金屬或陶瓷材質以承受氣體熱負荷，並考慮熱膨脹效應對設備結構的影響。此外，高溫氣體中微粒常具高磨蝕性，故內壁材料亦須耐磨設計。

4.3 旋風集塵器之適用條件

29. 旋風集塵器的優點有哪些？其限制為何？請分別說明。
解答：優點包括：結構簡單、無移動部件、操作維護方便、適用於高溫與含固量高的氣體。限制包括：對細微粒效率低、需大空間安裝，且過高流速易造成設備磨損。

伍、溼式洗滌器

5.1 簡介

30. 請說明溼式洗滌器的基本操作原理，以及其除塵過程中氣液兩相如何互動。
解答：溼式洗滌器透過將含塵氣體與液體（通常為水）進行充分接觸，使粒狀污染物因慣性碰撞、攔截或擴散等機制被液滴捕捉並帶離氣相。有效的氣液兩相接觸對除塵效率影響極大。

5.2 溼式洗滌器系統

31. 溼式洗滌器常見的類型有哪些？請列出 3 種並簡要說明其特性。
解答：1. 噴霧塔：液體經噴嘴霧化形成細小水滴與氣體逆流接觸，適用於中粒徑微粒。
2. 文氏洗滌器：高速氣體於收縮管中與液體劇烈混合，適合捕捉細粒子，效率高但壓損大。
3. 填料塔：氣體通過填料層與分布均勻的液體接觸，效率穩定，常用於氣體吸收與除塵並行之場合。

32. 試說明影響溼式洗滌器除塵效率的主要因素。
解答：主要因素包括：
1. 液滴粒徑與分布。
2. 氣液接觸時間與面積。
3. 液氣比。
4. 液體性質（如黏度、表面張力）。
5. 設備內部結構設計，如噴嘴配置、塔內氣流分布等。

33. 溼式洗滌器之液體處理系統需包含哪些單元？其功能為何？
解答：通常包含沉澱槽（去除沉降粒子）、過濾器（去除細懸浮物）、循環泵（提供洗滌液）、加藥裝置（調整 pH 或加助凝劑）。其目的為延長洗滌液使用壽命並確保除塵效率。

34. 溼式洗滌器的除塵效率與壓力降 (ΔP) 有何關係？根據壓力降可分為哪三種類型？
解答：溼式洗滌器的除塵效率通常隨壓力降的增加而提升。依壓力降 (ΔP) 大小可分為 4 類：低能量型 (ΔP <2 cmH_2O)、中能量型 (2-6 cmH_2O) 與高能量型 (ΔP>6 cmH_2O)。壓力降愈大代表氣液接觸更劇烈，除塵效果更好，但相對操作成本也較高。

35. 簡述氣相接觸式溼式洗滌器的除塵原理，並舉出 3 種代表設備。
解答：氣相接觸式洗滌器主要利用氣體本身所含能量，將液體剪碎成液滴，藉由微粒與液滴的碰撞達成除塵目的。常見型式包括：平板洗滌器、流孔洗滌器與文氏洗滌器。

36. 文氏洗滌器為何能去除次微米微粒？其設計與操作特性為何？
解答：文氏洗滌器利用氣體高速通過喉部（可達 61-244 m/s），將注入液體霧化為極細液滴，提升與微粒碰撞機會。其可去除粒徑小至 0.2 μm 的粒子，但需高壓力降（通常>100 cmH_2O），適用於工業鍋爐、焚化爐、紙漿、煉鋼等高負荷廢氣處理。

陸、袋式集塵器

6.1 簡介

37. 請說明袋式集塵器的除塵原理，並說明濾材濾餅 (Dust Cake) 在過濾效率中的角色。

解答：袋式集塵器利用氣體通過濾袋時，粒狀污染物被濾材或濾餅攔截下來。濾餅是初期累積於濾材表面的微粒層，它能提高過濾效率但同時也增加壓差，因此須適時清除以維持系統效能。

6.2 袋式集塵器之系統及構造

38. 說明袋式集塵器的兩種過濾方式，並比較其氣流方向與微粒收集位置的差異。

解答：內部過濾式：氣體由濾袋內部進入，粉塵留在袋內，乾淨空氣從袋外逸出；常見於反洗空氣式、機械振盪式。外部過濾式：氣體從濾袋外部流入，粉塵黏附於濾袋外，乾淨空氣由袋內部逸出；常見於脈衝噴氣式。外部過濾需支撐籠避免濾袋變形。

39. 袋式集塵器的漏斗設計有何特點？如何促進粉塵順利排放？

解答：漏斗內部通常設計為 60°斜坡，讓粉塵自然落下。為避免堵塞，會加裝打擊板、振動器或搗灰孔等裝置。打擊板可用木槌敲擊，使附著粉塵脫落，有些也設檢修孔方便保養。

柒、靜電集塵器

7.1 簡介

40. 請說明靜電集塵器 (ESP) 的基本操作原理，並說明何謂電暈放電。

解答：靜電集塵器透過高壓電產生電暈放電，使氣流中的粒子帶電，再經由靜電力吸附至集塵板。電暈放電指的是高壓電場下使氣體電離形成等離子體，使微粒得以帶電，進而被收集。

7.2 靜電集塵器的構造

41. 靜電集塵器對微粒移除效率受哪些因素影響？請至少列出 3 項並說明其作用。

解答：1. 微粒特性：粒徑越大或導電性越佳，越易帶電與收集。
2. 電場強度：影響電暈放電強度與粒子充電速率。
3. 氣流分布與流速：需均勻且適中，避免過快造成粒子未完全移除即排出。

42. 請說明集塵極與放電極的功能差異，以及其在設備中的配置方式。
解答：放電極（多為細線）負責產生電暈放電使粒子帶電；集塵極（為金屬板）則吸附帶電微粒。兩者配置平行或同心排列，中間保持高電壓差，以形成穩定電場捕集微粒。

43. 試說明靜電集塵器進氣分布裝置的重要性與功能為何？
解答：分布裝置確保進入設備之氣流均勻分布，避免偏流與短路氣流，提升整體除塵效率。常見裝置包括導流板、格柵或孔板，應依氣體特性與風量適當設計與配置。

44. 靜電集塵器與其他集塵設備相比，其優點與缺點為何？
解答：優點：能連續操作、處理氣量大、壓損小、可捕捉微小粒子。缺點：對低導電性微粒效率低、初期投資與維護成本高、易受氣體溼度與成分變動影響。

7.3 靜電集塵的理論

45. 靜電集塵器內的粉塵微粒是如何被捕捉的？請說明其基本原理與主要構造。
解答：粉塵進入靜電集塵器後，會接觸由放電電極產生的空氣陰離子而帶電，然後在放電極與接地集塵板間的不均勻電場作用下，移動至集塵板表面並被吸附。主要構造包括：放電電極（電極線）與接地集塵板。

46. 什麼是電暈放電？其發生條件與現象為何？
解答：電暈放電是當放電電極加高電壓後，在其周圍出現淡藍色光芒的放電現象。其發生原因為電極附近電場強度極高，電子與離子被加速與空氣分子碰撞，使分子游離產生正離子與自由電子。此現象為靜電除塵中產生陰離子的關鍵機制。

47. 何謂雪崩相乘效應 (Avalanche Multiplication)？在靜電除塵中扮演什麼角色？
解答：當自由電子在高電場中與空氣分子碰撞游離時，會產生更多電子與離子，此連鎖反應稱為雪崩相乘效應。此效應在放電極附近形成亮光區域，是產生大量自由電子與陰離子的關鍵，有助於增強

微粒帶電效率。

48. 靜電集塵中微粒的帶電主要由哪一種粒子造成？此粒子如何產生？
解答：微粒主要由空氣陰離子附著而帶電。當自由電子離開電極線後，其速度降低並與空氣分子碰撞，使其轉變為陰離子，這些陰離子再與粉塵微粒接觸而使其帶電。

國家環境研究院 National Environmental Research Academy