

# 放射性廢棄物處理設施高級運轉員測驗命題重點

## 科目：放射性廢棄物處理技術

### 綜合

1. 減少放射性廢棄物的產生，可利用「操作管理」、「水質與材料改善」、「技術提升」、「再使用」與「回收再利用」等五大方法來達到放射性廢棄物減量的目的。
2. 放射性廢棄物管理最好的方法為避免或減少放射性廢棄物產生。
3. 放射性廢棄物之減量管理應以來源減廢為優先，管末處理次之，再輔以解除管制與放行作業。
4. 提升廢液處理系統之效能，增加處理廢水能力，可減少固化放射性廢棄物產量與廢水排放。
5. 提升核子燃料可靠度，可減少燃料棒護套破損或燃料棒表面的迷離鈾釋出之放射性分裂產物，可減少放射性廢棄物的產生。
6. 放射性廢棄物的處理，以不影響核能電廠或設施的正常運轉為優先原則，儘可能降低放射性廢棄物的產量。
7. 放射性廢棄物產生的主要機制包括：分裂、活化或污染。低放射性廢棄物可分為運轉產生的廢棄物、處理過程產生的廢棄物、除污產生的二次廢棄物及除役產生的廢棄物等。
8. 運轉產生的放射性廢棄物依產生時的物理型態，可分為放射性廢氣、放射性廢液與固體放射性廢棄物。
9. 固體放射性廢棄物依處理方式可分為固化廢棄物、脫水樹脂、可燃廢棄物、可壓廢棄物及不可燃不可壓廢棄物等。
10. 我國核能電廠放射性分裂產物之主要核種為鈾-137及鋇-90。
11. 我國核能電廠放射性活化產物之主要核種為鈷-60、鐵-59及錳

-54，壓水式核能電廠則尚有鈷-57。

12. 壓水式(PWR)與沸水式(BWR)核能電廠，其放射性活化產物活度濃度差異最大的核種為鈷-57。
13. 放射性液體廢棄物處理系統設置之目的為收集、處理和儲存放射性廢液。
14. 避免高導電度非放射性廢水送至廢液處理系統，避免所收集雨水送至廢液處理系統、避免主冷凝器管路洩漏冷卻海水等，可降低放射性廢液的產量。
15. 核能電廠飼水須去除銹垢之主要原因為：核能電廠飼水銹垢會影響水質，若飼水中含有活化腐蝕產物，會造成設備局部過熱，並會增加管線周圍的輻射劑量率。同時腐蝕產物沉積在燃料表面，會使其熱傳效率降低，且容易造成燃料失效。
16. 放射性廢棄物安定化處理之目的如下：
  - (1) 使放射性廢棄物達到物理狀態及化學性質均穩定的處理結果。
  - (2) 減少放射性污染擴散的可能性。
  - (3) 提升放射性廢棄物貯存安全。
  - (4) 符合備供最終處置的需求。
17. 核能電廠放射性廢液分類與其主要來源及處理原則如下：
  - (1) 低導電度廢液主要來自機件洩水，處理原則為經過濾、除礦、儲存後，視取樣偵測結果是否符合標準後，再決定送回系統回收使用或排放。
  - (2) 高導電度廢液主要來自地面洩水，處理原則為經濃縮處理後固化，凝結水送至低導電度廢液系統再處理，而濃縮後之殘渣則送至放射性廢棄物固化系統處理。

- (3) 含清潔劑廢液主要來自洗衣廢水，處理原則為先經過濾或吸附後，因此類廢水不適合固化或回收，經取樣偵測確認符合排放標準後排放。

18.我國核能電廠固體放射性廢棄物之分類及處理原則如下：

(1) 濕性固體放射性廢棄物：

(A) 粉狀樹脂、槽底污泥、濃縮殘渣等放射性廢棄物以固化方式處理。

(B) 粒狀樹脂脫水後，以裝有塑膠內襯的廢棄物桶盛裝貯存。

(2) 乾性固體放射性廢棄物：

(A) 可燃放射性廢棄物以焚化方式處理。

(B) 可壓放射性廢棄物以壓縮方式處理。

(C) 不可燃不可壓放射性廢棄物以裝桶貯存。

19.核能電廠放射性廢棄物處理設施的設計原則為：

(1) 具有防火、防爆、收集溢流之功能。

(2) 防震設計，能確保設備及結構之安全。

(3) 廢棄物處理系統、設備或組件之設計能抑制劣化、防止洩漏，並考慮減少廢棄物容積。

(4) 具有廢氣或廢液排放之偵測設備。

20.核能電廠放射性廢液處理系統之設計原則為：

(1) 可容納並處理核能電廠停機、起動、運轉時所產生之廢水，不致影響核能電廠運轉或可用性受到限制。

(2) 處理放射性廢液，使大部分處理後廢水能回收再利用。

(3) 降低並控制排放廢水的放射性活度，使不超過法規限制值。

21.非固著性放射性污染之廢金屬處理方式如下：

(1) 以適當之除污方式將其放射性污染降至可離廠放行限值，以

Co-60為例，比活度應低於每公斤100貝克，依核准之廢棄物離廠偵測作業計畫/放行計畫執行。

(2) 不易除污者，則貯存至比活度符合解除管制限值後外釋。

- 22.我國核能電廠盛裝廢棄物使用之塑膠袋，係以顏色來區分受放射性污染廢棄物或非放射性廢棄物。
- 23.操作放射性廢棄物處理系統前，應確實執行設備啟動前檢查，以確保運轉作業安全與處理品質。
- 24.操作放射性廢棄物處理系統時，不得違反經主管機關核准之安全分析報告及運轉技術規範內所規定的運轉限值。
- 25.為確保運轉安全，各項放射性廢棄物處理設備的維護，應訂定維護週期，確實依規定時間執行檢查。
- 26.中央氣象署發布地震通報，放射性物料設施所在地出現震度4級以上地震時，業者要比震度2至3級地震，增加執行詳細檢查通報作業。
- 27.輻射特性調查對核能電廠除役過程中，低放射性廢棄物處理類別及總量影響甚鉅。
- 28.發現石棉物質時，應將其妥善放置於通風良好之廠房或屋舍，並進行人員進出該區域管制。因其屬於有害事業廢棄物，如欲清運或處理，應通知環保單位進行後續事宜。
- 29.低放射性液態廢棄物使用沉澱、蒸發、離子交換等處理方式進行減量減容。
- 30.有關壓縮處理低放射性廢棄物所使用的壓縮機，通常稱壓縮力達1,000噸以上者為超高壓壓縮機。

## 過濾除礦

1. 過濾是將懸浮溶液流經過濾介質，使固體與液體分離之操作。

2. 混合樹脂除礦床之主要功能為去除廢液中可溶性雜質。
3. 我國核能電廠使用之預敷過濾器其預敷材料為粉狀樹脂。
4. 我國核能電廠凝結水除礦器，係使用陰陽離子交換樹脂混合床。
5. 當廢液通過樹脂床一段時間後，樹脂床出口處理水中離子濃度突然增加很快，此點稱為貫穿點，表示需更換樹脂或再生。
6. 預敷過濾器為防止預敷層過於緊密影響使用壽命，通常會添加纖維素來延長其使用時間。
7. 加強預敷樹脂技術，可減少因預敷失敗所產生非必要的廢棄樹脂，並增加過濾器使用時效。
8. 目前各核能電廠放射性液體除礦器樹脂不再再生使用之考量，係為避免氫氧化鈉與硫酸再生廢液之處理，減少濃縮廢漿的產生。
9. 減少耗損過濾器預敷樹脂與除礦器樹脂之方法如下：
  - (1) 冷凝器冷凝管採用耐沖蝕與耐腐蝕材料。
  - (2) 選用適當陽離子交換樹脂與陰離子交換樹脂配比。
  - (3) 改變樹脂粒徑。
  - (4) 混合床樹脂再生方法改善。
  - (5) 除礦器前加裝前置過濾器。
10. 離子交換樹脂進行離子交換之步驟為：
  - (1) 離子由溶液擴散至樹脂表面。
  - (2) 離子由樹脂表面擴散至樹脂內交換位置。
  - (3) 交換反應。
  - (4) 交換反應所釋出離子擴散至樹脂表面。
  - (5) 交換反應所釋出離子由樹脂表面擴散至溶液中。
11. 操作離子交換樹脂過濾系統應注意事項為：
  - (1) 重要的離子交換樹脂性質包括：

交換容量、膨潤平衡、架接度、樹脂粒徑、離子選擇性、化學穩定性及物理穩定性等。

(2) 重要操作條件包括：

物種在進料溶液之化學及物理形式、溫度、pH值、進料溶液流量及離子交換裝置大小等。

12. 樹脂所含之官能基對樹脂之特性有以下影響：

(1) 單位重量樹脂所含官能基總數決定樹脂的交換容量。

(2) 官能基的種類影響平衡與選擇性。

13. 凝結水除礦器逆洗之目的為：

(1) 將成團樹脂打散。

(2) 去除粒狀放射性污染物及被磨碎樹脂。

(3) 清除空氣孔穴。

(4) 重組樹脂床，使其均勻分布，避免流動廢液不均勻。

## 濃縮

1. 我國核能電廠放射性廢液之蒸發器進料採用連續式，而濃縮液出料則採用批次式。

2. 核能電廠的地面洩水，與化學廢液一併中和後，通常應先採取蒸發濃縮。

3. 蒸發器之霧沫現象係指廢液以微滴形態懸浮在蒸汽中，並隨蒸汽帶出蒸發設備。

4. 蒸發器之霧沫現象會使冷凝液的品質降低。

5. 蒸發時應避免霧沫現象發生，以免蒸發器內液位升高，降低液、汽分離的空間。

6. 防止膠體、界面活性劑及微細固體等進入蒸發器內，可減少霧沫現象發生。

7. 蒸發器之除污因子為進料核種比活度與餾出液核種比活度之比值。
8. 蒸發器運轉中常發生之問題如下：
  - (1) 蒸發器在運轉中常會發生鹽析、結垢、積垢及腐蝕等問題。
  - (2) 鹽析係由溶解度隨溫度升高而增加之溶解性物質在蒸發器壁尤其是加熱表面結晶析出所造成。
  - (3) 結垢係由在蒸發器內進行不可逆化學反應之物質或溶解度隨溫度升高而降低之物質，在蒸發器壁尤其是加熱表面沉積及生長所造成。
  - (4) 積垢係由除鹽析與結垢之外，因腐蝕及伴隨進料之固形物所形成之沉積，或因蒸氣冷凝而形成之沉積所造成。
  - (5) 腐蝕係因濃縮物中含有高濃度之鹽類，會造成蒸發器結構材料或管路腐蝕。

## 焚化

1. 焚化是可燃廢棄物減容的有效方法之一。
2. 一般焚化爐系統包括備料、進料、焚化爐本體、廢氣處理、灰爐與殘渣處理及儀控等設備。
3. 焚化爐系統操作時，整個系統必須在負壓環境下操作。
4. 可燃廢棄物備料應避免或限制會產生腐蝕性之氣體，以避免對焚化爐本體與廢氣管路造成腐蝕。
5. 廢棄物的型態會影響燃燒速率，壓緊的廢棄物易造成不完全燃燒，影響焚化效率。事先粉碎或分散的廢棄物燃燒速率較快。
6. 廢棄物熱值會影響焚化爐燃燒溫度，同時廢棄物熱值與含水量也會影響燃燒速率，進而影響焚化爐的處理量。
7. 核二廠減容中心及核三廠之放射性廢棄物焚化爐皆為控制空氣式

焚化爐。

8. 控制空氣式焚化爐之優點為廢氣或煙道氣所帶出的灰份較少。
9. 我國核能電廠放射性廢棄物焚化爐，皆採批次操作方式來焚化廢棄物。
10. 放射性廢棄物焚化爐投料口常有雙重門之設計，其主要目的為防止焚化氣體外漏出焚化爐。
11. 控制空氣式焚化爐主燃室之主要功能為有機廢棄物之裂解。
12. 控制空氣式焚化爐後燃室之主要功能為完全燃燒廢棄物。
13. 完全燃燒是焚化爐重要設計目標，與燃燒溫度、空氣量、滯留時間與擾流程程度有相當關係。
14. 焚化設施之驟冷器可將廢氣快速冷卻，以符合後置袋式過濾器操作溫度，並降低戴奧辛的產生機制。
15. 為防制焚化爐戴奧辛的生成，通常會以驟冷器將煙氣降至200°C以下。
16. 焚化爐設備的廢氣處理系統應具有多重性，以便設備故障時，可隨時切換使用，確保焚化爐排氣符合規定。
17. 焚化爐煙道出口處裝置有廢氣輻射偵測儀，可偵測排氣之放射性活度，防止放射性核種意外釋出。
18. 焚化設施之袋式過濾器，可將廢氣中99.9%大於1 $\mu\text{m}$ 之粒子去除。
19. 為處理低放射性廢棄物焚化爐運轉產生的煙氣，於廢氣處理流程中設置絕對過濾器(HEPA)，該設備可濾除粒徑0.3 $\mu\text{m}$ 以上之顆粒，其濾除效率可達99.97%以上。
20. 可燃廢棄物經過焚化減容後，主燃室會殘留爐底灰，隨煙道氣攜走之粉塵，經袋式過濾器收集者，稱為飛灰。
21. 焚化爐內燃燒不完全之火星，被廢氣帶至處理系統，袋式過濾器

容易因殘餘火星而損壞。

22. 焚化設施設洗滌塔之目的為去除廢氣中硫及氮之氧化物，以符合環保法規要求。
23. 處理量400kg/hr以下的焚化爐，戴奧辛法規排放標準值為0.5 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>。
24. 如何防制焚化爐戴奧辛的生成：
  - (1) 去除廢棄物中金屬物及減少飛灰量。
  - (2) 煙氣快速降溫。
  - (3) 廢氣處理設備運轉溫度變化量小。
25. 核能電廠內之放射性廢棄物焚化爐，要求焚化廢料包中之紙類、塑膠、布料等材質，應依規定之配比進行包裝，其主要目的為控制廢料包熱值。
26. 焚化爐要達到完全燃燒的目標，須注意系統內廢氣滯留時間。

## 金屬熔融

1. 放射性污染廢金屬進入熔爐時，須確定不含水或其他液體，以避免產生氫氣造成爆炸。
2. 放射性污染廢金屬熔融後可將鈷-60與銫-137核種分離，縮短鑄錠經衰變後可解除管制的時間。
3. 放射性污染廢金屬熔融後，銫-137會傳送至爐渣或粉塵中。
4. 放射性污染廢金屬熔融後，鈷-60會殘留於鑄錠中。
5. 放射性污染廢金屬熔融所產生之二次廢棄物包括爐渣、粉塵、熔爐內襯材料及廢過濾器。
6. 金屬熔融技術應用於受放射性污染廢金屬之主要效益為減容。

## 固化

1. 將低放射性液態廢棄物進行處理，使之轉變為固態廢棄物的技術主要有水泥固化、高分子聚合物固化及瀝青固化。
2. 水泥固化廢棄物裝桶後，表面若無浮水，養生後將不會有自由水及鹽類結晶之問題發生。
3. 為確保固化放射性廢棄物的品質，放射性廢棄物的固化處理，必須依核准的固化流程控制計畫執行。
4. 固化作業前，放射性廢棄物或廢液必須完成取樣分析作業。
5. 低放射性廢棄物經均勻固化後，法規要求固化體品質的溶出指數應大於6。
6. 低放射性廢棄物之水泥固化體，單軸抗壓強度須達到 $15\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上。
7. 低放射性廢棄物之水泥固化體，經過耐候性測試、耐水性測試、耐輻射測試或耐菌性測試等品質驗證程序後，單軸抗壓強度仍須達到 $15\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上。
8. 放射性廢棄物固化體品質不符合規定時之處理方式：
  - (1) 將此批次固化桶暫貯於不合格固化桶區，未來可以高完整性容器盛裝送往最終處置設施處置。
  - (2) 再檢視所使用之固化流程或修正固化參數。
9. 固化廢棄物因故造成其品質劣化時，應適時執行檢整作業，可採套桶處理或重新固化包裝，以確保固化廢棄物之貯存安全。
10. 我國沸水式反應器放射性廢棄物高減容固化技術方法為：「以廢棄物固化廢棄物」的策略，將放射性廢棄物中的硫酸鈉廢液轉化為安定之硫酸鋇，降低鈣礬石之產生，避免固化體龜裂或膨脹。
11. 我國沸水式反應器放射性廢棄物高減容固化之特性為：
  - (1) 具高減容效果。

(2) 可解決鹽類析出問題。

(3) 固化體密度高。

12.我國壓水式反應器放射性廢棄物高減容固化技術之特性為：

利用硼酸鹽高度濃縮後分子數目降低，在與一般水泥相同固化要求下，可降低固化劑使用量；利用廢棄物直接與固化劑反應形成固化體，而非以包埋方式進行固化，減容效率高、漿體硬化快速、無浮水。

13.高分子聚合物固化之優缺點如下：

(1) 優點：

(A) 容積效率高。

(B) 固化體抗壓强度高。

(C) 核種溶出指數高。

(2) 缺點：

(A) 操作之善後處理較複雜。

(B) 廢液固化體容易變形龜裂。

(C) 固化劑材料遠比水泥昂貴。

(D) 高分子聚合物具可燃性。

(E) 固化體長期穩定性尚無法確認。

14.瀝青固化之優缺點如下：

(1) 優點：

(A) 混合效果佳，可獲得高容積效率，廢棄物荷載率可達50 W%（重量百分比）。

(B) 固化劑價廉，操作成本低。

(2) 缺點：

(A) 瀝青具可燃性，日本曾發生嚴重火災，已經逐漸放棄不用。

(B) 機械強度低，受熱時固化體易變形。

(C) 瀝青耐水性不佳，固化體品質差。

(D) 固化結構耐輻射性不佳。

(E) 會與氧化性物質如 $\text{NaNO}_3$ 產生反應。

15. 廢樹脂濕式氧化高效率固化法之特性如下：

可解決廢樹脂的減容與安定化問題，過程以雙氧水將廢樹脂的有機成分濕式氧化變為 $\text{CO}_2$ 與 $\text{H}_2\text{O}$ ，達到減容目的。殘渣為無機硫酸鹽，利用高效率固化系統予以固化，可再減少廢棄物之體積。

16. 依我國核能電廠放射性廢棄物處理經驗，粒狀離子交換樹脂目前仍無法以水泥固化方式進行處理。

17. 以傳統水泥進行含硼酸放射性廢液之固化處理，常發生固化阻滯 (retardation) 作用，將使固化水泥用量增加、固化體容積增加及其品質降低之情形。

## 除污

1. 核能設施除污之目的為降低工作區域的輻射劑量率、避免放射性污染擴散及減少放射性廢棄物產量。

2. 非固著性放射性污染，可採取適當除污方式去除，以有效降低放射性廢棄物的產生。

3. 受放射性污染物品的除污方式，依物體型態可利用化學除污、機械除污、超音波除污、電解除污等方法。

4. 粗糙表面之物件，可利用熔融除污、機械除污、電化學除污方式去除放射性污染。

5. 核能電廠中所採用化學除污及電化學除污之主要處理對象為金屬廢棄物。

## 除役

### 1. 除役之定義及措施：

根據核子反應器設施管制法定義，除役係指核子反應器設施永久停止運轉後，為使設施及其土地資源能再度開發利用，所採取之各項措施。

除役之措施包括設施拆除前之整體規劃（含特性調查、拆除方式、輻射安全評估、人員訓練及放射性廢棄物管理等）、除污、設備及組件拆除、建物拆除、放射性廢棄物管理及廠址復育等。

### 2. 核能電廠除役的策略：除役是繼選址、興建、運轉後，整個核能電廠生命週期之最後一環。國際間核能電廠除役之方式，通常可分為立即拆除(DECON)、延遲拆除或稱安全貯存(SAFSTOR)及固封(ENTOMB)3種。我國之除役策略，規定採立即拆除之方式。

#### (1) 立即拆除

核能電廠永久停止運轉並獲得除役許可後，在一定時間內（我國為25年），將廠內所有放射性物質（包括用過核子燃料、射源及低放射性廢棄物）移除，同時將受放射性污染之設備、結構及系統除污後拆除，移至設施外貯存或最終處置，以符合廠址輻射劑量規定，使土地能再利用。立即拆除之優點為核能電廠能在永久停止運轉後短時期內釋出廠址提供再利用，同時還可借重現有電廠人員熟悉設施之經驗，順利進行除役作業。但因拆除作業為永久停止運轉後短期內即開始進行，和其他除役方式相比，作業人員所接受之輻射劑量較高，放射性廢棄物也較多。

#### (2) 延遲拆除

在核能電廠永久停止運轉後，先維持於安全狀況下，使廠內

之放射性物質經一段時間衰變後，再進行除污及拆除至符合法規後將土地再利用。延遲拆除區分為3個階段，準備期、安全貯存期及拆除期。準備期約2年，此階段先進行必要之清潔及除污作業，並加裝安全障壁及監測設備；一般大型輕水式核能電廠若採取此除役方式，其安全貯存期約60年，讓放射性充分衰減再進行拆除作業，如此工作人員之曝露劑量及放射性廢棄物產生量將大幅降低。其缺點為土地再利用之時間拉長，且必須執行長期的保安、維護及監測作業。

### (3) 固封

在核能電廠永久停止運轉後，將廠內之用過核子燃料、現存之放射性廢棄物及一些組件移出廠區後，以混凝土將所有殘留之高放射性或高污染組件密封，並加以適當監測，直至放射性衰減到符合法規限值為止。固封之結構體必須維持長期之完整性，以確保放射性不致外釋造成影響。美國核能管制委員會不允許固封時間超過100年，若核能電廠無法證明100年後放射性已衰減至法規限值，則必須採用立即拆除之方式進行除役。

### 3. 核能電廠除役產生的放射性廢棄物

除役廢棄物主要來源為反應器壓力槽及其內部組件、中子活化組件、生物屏蔽、結構材料（如混凝土）、燃料池結構與系統、桶槽與熱交換器、機械與電氣設備、地面洩水溝與污水坑及放射性污染泥土等。

### 4. 核能電廠除役廢棄物之處理

由於除役作業會產生大量的放射性污染物質或廢棄物，需經事先規劃、偵測後，提出有效的分類、拆除方法及解除管制作為，使

廢棄物經過適當的處理，不但能減省除役時間，也能降低放射性廢棄物的產量。

除役產生的廢棄物，經過適當分類後，區分為放射性廢棄物與非放射性廢棄物。非放射性廢棄物以環保法規之事業廢棄物處理，放射性廢棄物則依原子能法規處理與處置。短半化期的放射性物質，可經除污或待輻射衰減後解除管制。

#### 5. 核能電廠除役之重要準備工作

廠址內放射性物質特性鑑定是除役計畫重要準備工作，尤其是放射性累積存量評估，放射性累積存量數據及輻射分布圖是除役方式決定、解體順序確定、解體時輻射曝露劑量預估、解體廢棄物處理處置方法決定、除役費用掌握等之主要基本數據。精確之特性鑑定可有效規劃需清除區域，減少相關費用；不正確之特性鑑定可能導致放射性污染量高估，進而花費昂貴費用於不必要處理之物質，亦可能低估放射性污染導致殘留放射性。

#### 6. 我國核能電廠除役之時程規劃

依規定，我國核能電廠於預定永久停止運轉前3年即應提出除役計畫，經核安會許可後才能進行除役。台電公司將核能電廠的除役拆廠作業時程規劃為下列4個階段：

第一階段：除役過渡階段（8年）

第二階段：除役拆廠階段（12年）

第三階段：廠址最終狀態偵測階段（3年）

第四階段：廠址復原階段（2年）