

## 一、 材料與化學工程 (Materials and Chemical Engineering)

在材料與化學工程的領域中，有下列七項工作須執行，每項工作須遵守的導則詳述於後續小節中。

- 1.1 反應爐壓力容器材料監測方案 (Reactor Vessel Material Surveillance Program)
- 1.2 壓力溫度限值及上限衝擊能 (Pressure-Temperature limits and Upper-Shelf Energy)
- 1.3 反應爐內部組件及爐心支撐材料 (Reactor Internal and Core Support Materials)
- 1.4 反應爐冷卻水壓力邊界材料 (Reactor Coolant Pressure Boundary Materials)
- 1.5 保護塗料-有機材料 (Protective Coating Systems –Organic Materials)
- 1.6 功率提昇對流體加速腐蝕的影響 (Effect of Power Uprate on Flow-Accelerated Corrosion)
- 1.7 爐水淨化系統 (Reactor Water Cleanup System, RWCU)

### 1.1 反應爐壓力容器材料監測方案 (Reactor Vessel Material Surveillance Program)

反應爐壓力容器材料監測方案提供一個監測壓力容器腹帶 (Beltline) 區材料抗破壞之韌性 (Toughness) 的方法，監測方案的結果可支持分析的結論，以確保反應爐壓力容器肥粒 (Ferrite) 鐵組件之結構完整性。管制審核的重點是功率提昇計畫對電廠壓力容器材料試片 (Capsule) 抽出檢驗時程的影響，接受準則包括：

- (1) 通用設計準則 GDC-14 (General Design Criterion, GDC) 要求反應爐冷卻水壓力邊界 (Reactor Coolant Pressure Boundary, RCPB) 的設計、製造、安裝、與測試都必須確保發生快速破壞 (Fracture) 增長的機率極低；
- (2) GDC-31 要求 RCPB 的設計須有足夠之餘裕以確保在指定的特殊情況下，材料的性質仍是非脆性 (Nonbrittle)，且發生快速破壞增長的機率需降至最低；
- (3) 10 CFR 50 附錄 H 提供了對反應爐壓力容器腹帶區材料抗破壞之韌性是否改變之監測；及
- (4) 10 CFR 50.60 規定必須對 10 CFR 50 附錄 H 的要求有所承諾。

標準審查規範 (Standard Review Plan, SRP) 5.3.1 節提供了特定的審查準則，RS-001 矩陣 1 提供相關審查指引。

## 1.2 壓力溫度限值及上限衝擊能 (Pressure-Temperature limits and Upper-Shelf Energy)

建立壓力—溫度 (P-T) 的限值以確保在正常運轉期間任何狀況下，包括可預見運轉事件及水壓試驗，RCPB (Reactor Coolant Pressure Boundary) 肥粒鐵組件的結構完整性。管制人員在審查 P-T 限值時，範圍包括 P-T 限值的計算方法及如何計算功率提昇計畫中所列的有效全功率運轉年 (Effective Full Power Year, EFPY)，需考慮到中子對材料之脆化 (Embrittlement) 效應以及使用線性彈性破壞力學。對 P-T 限值的接受準則包括：

- (1) GDC-14 要求 RCPB 的設計、製造、安裝、與測試都必須確保發生快速破壞增長的機率極低；
  - (2) GDC-31 要求 RCPB 的設計須有足夠之餘裕以確保在指定的特殊情況下，材料的性質仍是非脆性，且發生快速破壞增長的機率需降至最低；
  - (3) 10 CFR 50 附錄 G 對 RCPB 肥粒鐵組件抗破壞韌性之需求；及
  - (4) 10 CFR 50.60 規定必須對 10 CFR 50 附錄 G 的要求有所承諾。
- SRP 5.3.2 節提供了特定的審查準則，RS-001 矩陣 1 提供相關審查指引。

### 1.3 反應爐內部組件及爐心支撐材料 (Reactor Internal and Core Support Materials)

反應爐內部組件及爐心支撐包括執行安全功能的結構、系統與組件 (Structures, Systems, and Components, SSCs)，以及其損傷會影響到執行安全功能的 SSCs。安全功能包括反應度之偵測與控制、爐心冷卻、及將分裂產物包封於燃料護套 (Fuel Cladding) 與反應爐冷卻水系統 (Reactor Coolant System, RCS) 內。管制審核包括材料之規格及機械物性、焊接、焊接管控、非破壞檢驗程序書、腐蝕防制、以及易劣化之程度。對反應爐內部組件及爐心支撐材料的接受準則包括：GDC-1 與 10 CFR 50.55a。SRP 4.5.2 節及沸水式反應器及內部組件的檢測計畫 (Boiling Water Reactor Vessel and Internals Project-26, BWRVIP-26) 提供了特定的審查準則。

#### 1.4 反應爐冷卻水壓力邊界材料 (Reactor Coolant Pressure Boundary Materials)

RCPB (Reactor Coolant Pressure Boundary) 的定義為承受反應爐所產生高壓力流體之系統或組件的邊界，管制人員對 RCPB 材料的審核包括材料之規格、與反應爐冷卻水之相容性、製造與加工過程、易劣化程度、以及劣化之管理計畫。對 RCPB 材料的接受準則包括：

- (1) 10 CFR 50.55a 與 GDC-1 要求對安全重要之 SSCs，其設計、製造、安裝、營建、測試、與檢查都必須達到與其執行的安全功能之重要性相稱的品質標準；
- (2) GDC-4 要求對安全重要之 SSCs 設計時能有足夠裕度以承受正常運轉、維護、測試及假想意外事故之各種環境的影響；
- (3) GDC-14 要求 RCPB 之設計、製造、安裝、與測試都必須確保發生快速破壞增長的機率極低；
- (4) GDC-31 要求 RCPB 的設計須有足夠之餘裕以確保在指定的特殊情況下，材料的性質仍是非脆性，且發生快速破壞增長的機率需降至最低；以及
- (5) 10 CFR 50 附錄 G 規定 RCPB 肥粒鐵組件抗破壞之韌性。

SRP 5.2.3 節提供了特定的審查準則，RS-001 矩陣 1 提供相關審查指引。對於不同金屬材料焊接之一次側應力腐蝕龜裂 (Primary Water Stress-Corrosion Cracking, PWSCC) 與相關之檢查計畫如通函 (Generic Letter, GL) 97-01、通知 (Information Notice, IN) 00-17、公報 (Bulletin, BL) 01-01、BL02-01、以及 BL 02-02。對鑄造沃斯田不鏽鋼組件的熱脆化評估如 2000 年 5 月 19 日 NRC 的 C. Grimes 先生致 Nuclear Energy Institute (NEI) D. Walters 先生的信件。

### 1.5 保護塗料-有機材料 (Protective Coating Systems –Organic Materials)

保護塗料（油漆）可防制廠房各設施及設備表面的腐蝕及放射性核種污染，同時在電廠進行運轉及維護作業時也可保護設備表面免於摩擦。管制人員的審查涵蓋圍阻體內部之保護塗膜，必須考慮到在設計基準冷卻水流失事故（Design-Basis Loss-of-Coolant Accident，DBLOCA）時，受輻射及化學影響之下，這些塗膜之適合性及穩定性。對保護塗膜的接受準則包括：

(1) 10 CFR 50 附錄 B 對安全相關 SSCs 在設計、製造、及營建時的品保要求；  
與

(2) 法規指引（Regulatory Guide，RG）1.54 Rev 1.0 對核能電廠使用保護塗料及監測塗料之性能提供導則。

SRP 6.1.2 節提供了特定的審查準則。

## 1.6 功率提昇對流體加速腐蝕的影響 (Effect of Power Uprate on Flow-Accelerated Corrosion)

流體加速腐蝕 (Flow-Accelerated Corrosion, FAC) 發生在承受單相水流或汽、水雙相流之碳鋼組件上，不鏽鋼組件不受 FAC 的影響，若組件之材料含有少量之鉻 (Chromium) 或鉬 (Molybdenum)，FAC 會顯著減少，FAC 所造成之材料損耗取決於流速、流體溫度、蒸汽濕度、含氧量及 PH 值。在電廠運轉期間無法完全控制這些參數，大多數情況下，無法使 FAC 的影響降至最低，因此 FAC 所造成的材料損耗無可避免。管制人員須審查電廠功率提昇對 FAC 的影響，同時須審查電廠的 FAC 防制計畫能否預估設備或管路壁厚之磨耗率，且當磨耗至關鍵厚度時是否能更換或修補受損之組件或管路。電廠的 FAC 防制計畫是根據 NUREG-1344、GL 89-08、以及 EPRI NSAC-202L-R2 等報告，內容包括使用 CHECWORKS 電腦程式來預估壁厚磨耗率，以及受影響組件之目視檢驗。接受準則是依據在 FAC 劣化情況下，組件最小可接受壁厚之結構評估。

### 1.7 爐水淨化系統 (Reactor Water Cleanup System, RWCU)

RWCU 藉著過濾及離子交換來維持反應爐冷卻水的水質，同時在必要時也提供反應爐冷卻水排出的一條通道，RWCU 也是 RCPB 的一部分。管制人員對 RWCU 的審查包括流量、溫度、壓力、熱移除能力、雜質移除能力等之組件設計參數；以及系統運轉與隔絕所需之儀錶與程序控制。審查亦包括電廠的運轉技術規範 (Technical Specification, TS) 在功率提昇狀況下是否仍適用。對 RWCU 的接受準則包括：

- (1) GDC-14 要求 RCPB 之設計、製造、安裝、與測試都必須確保發生快速破壞增長的機率極低；
- (2) GDC-60 要求電廠的設計必須包括對放射性物質外洩之控制方法；與
- (3) GDC-61 要求含放射性物質之系統在設計上必須要有適當之阻隔 (Confinement)。

SRP 5.4.8 節提供了特定的審查準則。