第十一章棒位型式控制

壹、系統作用

一、強制值班員依照預定的棒位型式操作，以限制控制棒掉落事故所引起的不良後果。

二、限制控制棒的移動，使燃料棒內的熱通量不致到達過熱的程度。

貳、有關棒位型式控制之名詞解釋

一、控制棒葉片，自核心掉下，導致局部功率及熱通量的增加。

二、低功率設定點(LPSP)這是保守的儀器設定點(20％反應爐功率)，功率高於此點後，即使控制棒掉落事故發生，也不致引起燃料棒損壞。故功率高於此點後，抽、插棒順序不再強制執行。

三、低功率警報點(LPAP)此項儀器設定點(25％反應爐功率)，告訴值班員及棒位型式控制系統，反應爐功率正進入轉換區域。

四、轉換區域的功率介於LPSP與LPAP之間(20％～25％)。在此區域內，棒位型式控制系統只監視抽、插棒過程的型式變化，沒有違反棒位型式之阻棒，但抽棒不可超過 4 Notches/Selection。

五、高功率設定點(HPSP)此項儀器設定點(＝70％反應爐功率)，是為了避免單根控制棒一次抽出太多，造成局部過高的熱產生率。抽棒被限制在2 Notches/Selection。

六、棒組(Rod Group)

1.所有的控制棒分成數個棒組。

2.每一個棒位序列(SEQUENCE A或B)都有10 個棒組。

3.最初四個棒組(GROUP 1 到 4)完全抽出後，所形成的棒型稱為西洋棋盤型式(Checker Board Pattern)。

七、支棒組(Rod Subgroup)

1.每個棒組又區分為幾個支棒組。

2.支棒組是做為棒群(Gang Rod)抽出或插入之用。

3.支棒組由多少控制棒組成並不一定，依控制棒在核心的位置而不同。

八、棒位序列(Rod Sequence)幾個棒組依抽棒順序儲存於電腦磁鼓上，做為抽棒時的依據，稱為棒位序列。共有A、B二種棒位序列。

1.功率低於LPSP時─控制棒移動時的型式，由棒位型式控制系統加以管制。

2.功率高於LPSP時─控制棒移動時的型式不受管制，但仍須依照操作規程操作。（4 Notches/Selection 或2 Notches/Selection）

九、控制棒密度(Rod Density)

插入爐心之控制棒節數與全部控制棒之總節數比。當控制棒全入時，其控制棒密度為100％，反之當控制棒全部抽出時，控制棒密度為0％。

十、棒位序列A

係在50％控制棒密度(Rod Density)時，中央控制棒沒有抽出的棒位型式。

十一、棒位序列B

係在50％控制棒密度時，中央控制棒業已抽出的棒位型式。

參、控制棒掉落事故分析

一、控制棒掉落事故的假定發生過程：

1.控制棒驅動機構與控制棒葉片脫離。

2.抽出驅動機構。

3.葉片卡在核心內，沒有跟隨驅動機構抽出。

4.然後葉片自核心掉下，掉落到驅動機構停留位置，掉落過程急驟地加入正反應度，燃料棒內產生的熱量也增加。

5.由於負都卜勒係數使功率短暫下降然後回升，反應爐急停。

二、在下列一連串的假設條件下，將發生IN-SEQUENCE(依序)控制棒掉落事故中最嚴重的結果：

1.最大局部功率尖峰因素等於或小於1.30。

2.爐心壽命末期，遲延中子分數等於0.005。

3.有最強的都卜勒反應度回授(核心初期)。

4.控制棒急停插入率，依照運轉規範規定。

5.最大可能的控制棒掉落速度(5ft/sec)。

6.設計事故標準及急停反應度整型功能。

7.到達臨界之最低緩和劑溫度。

三、最嚴重的控制棒掉落事故，可能會造成燃料損壞。

四、燃料損壞就是燃料護套穿孔，分裂產物逸出至冷卻水中。

五、雖然燃料的熱焓到達280 Cal/gram時，UO2會完全熔化，比較上來說，分裂產物自護套逸出量極少，引起的壓力瞬變也不大，因此，燃料的設計以280 Cal/gram為限制標準。

六、控制棒掉落的發生順序及後果說明

1.功率小於20％時

（1）功率低於LPSP(20％)時，容許IN-SEQUENCE控制棒選棒和抽棒。 此時，容許最高控制棒本領(Rod Worth)的控制棒葉片掉落，產生的熱量為280 Cal /gram。

（2）OUT-OF-SEQUENCE(不依序)控制棒之抽出，超出原定位置一個節距時，棒位型式控制系統即予制止。此時若發生掉棒事故，落棒行程最多也不過是一個節距。

2.功率大於20％時

（1）功率增高時，爐心空泡(Void)也增加，控制棒周圍，尖峰對平均中子通量圖形(Peak-to-Average Flux Profile)也趨向平坦。

（2）高功率時發生掉棒事故，反應度變化遠比低功率時發生者為小。

（3）高功率時，掉棒事故影響的範圍廣泛，因而局部熱量的產生較低。

（4）因此，棒位型式控制系統在功率高於20％後，不再執行抽棒順序的管制。

（5）此時，如果一根IN-SEQUENCE控制棒掉落，產生的熱焓將小於100 Cal/gram。

（6）單一不依序抽棒的錯誤情況下，若發生掉落事故，產生的熱焓也小於280 Cal/gram。

（7）假設掉棒事故發生，說明整廠各系統如何自動地起動，以包封分裂產物和減少瞬變的嚴重性。

（8）最嚴重的掉棒事故是在起動時期，由於值班員抽插控制棒的一再錯誤，在中央控制棒全插入之情況，使爐心中央區域有潛在的危機。此時若中央棒掉落，引起的燃料損壞相當嚴重，產生的熱焓可能超過425 Cal/gram。

（9）425 Cal/gram的熱焓，可能使燃料棒瞬間爆裂，壓力急速上升，大量分裂產物自護套逸出。

（10）功率高於20％後，即使值班員一再操作錯誤，也不致使控制棒本領高到足以產生大於280 Cal/gram的熱焓。

肆、藉著棒位型式控制系統限制控制棒本領

一、棒位型式控制系統，管制控制棒的移動，使一旦發生掉棒事故後，嚴重性限制至最小。

二、建立最大控制棒本領的棒位型式是以：

1.限制控制棒的移動。

2.應特別考慮起動時，最大的IN-SEQUENCE及OUT-OF-SEQUENCE控制棒本領型式。

三、最大IN-SEQUENCE控制棒本領

1.某一棒組各控制棒，已全部抽出。

2.下一棒組的一支控制棒也依序抽出。

3.最大IN-SEQUENCE控制棒本領，往往發生在某一棒組第一根控制棒抽出時。

四、最大OUT-OF-SEQUENCE控制棒本領(有一次操作錯誤)

1.某一棒組各控制棒，已全部抽出。

2.下一棒組的一支控制棒，也已完全抽出。

3.這時值班員犯了一次操作錯誤：

（1）誤選及抽出一OUT-OF-SEQUENCE控制棒，此棒恰在前述剛剛依序抽出之控制棒附近。

（2）這種錯誤由棒位型式控制系統予以防止。

（3）除了上述錯誤情況下，其他不依照順序的選、抽棒，控制棒本領都較低。

五、功率運轉時，一次操作錯誤情況下之最大控制本領型式。

1.前節所述起動範圍的IN-SEQUENCE或OUT-OF-SEQUECNCE情況已不存在。

2.所有內部控制棒(Interior Control Rod)反應度都大致相同(約為1.5％△K∕K)。

3.因控制棒掉落而可能增加的反應度，由下列方法加以管制：

（1）留在爐心內的控制棒，只允許短程(部份)抽棒。

（2）限制反應爐內總尖峰因素(Total Peaking Factor)。

（3）控制棒可能僅掉落至部份抽出位置。

4.單一操作錯誤的最壞情況選擇及完全抽出具有最大本領的控制棒 (很難確定那一根)，此時高反應度加入爐心的潛在可能，由於：

（1）具有高本領的控制棒本身。

（2）假如鄰近控制棒(此棒剛剛依照順序抽出)葉片卡在全入位置。

5.功率運轉時，反應度加入之限制：

（1）依爐心熱限制為準則(如最小臨界功率比，MCPR等等)。

（2）管制方法在於限制控制棒移動的多寡，而不計較是否依照順序抽棒。