

# 調壓槽壓力與水位控制

- 壹、調壓槽
- 貳、調壓槽壓力控制系統
- 參、調壓槽水位控制系統
- 肆、儀器和控制
- 伍、運轉注意事項

## 壹、調壓槽 ( Pressurizer )

一、

### A. 概說

調壓槽係一直立、圓柱形槽，有半球形之頂蓋和底蓋，由碳鋼製成，與反應爐冷卻水接觸之內表面另覆襯一層不銹鋼，正常運轉時，調壓槽包容飽和水和飽和蒸汽，藉電氣加熱器與噴灑系統來維持調壓槽壓力於適當運轉壓力。

調壓槽係設計能容納由於負載暫態變化引起的湧入和湧出。當反應爐功率突增，爐水溫度上升，使爐水膨脹而湧入調壓槽引起壓力上升時，藉引自RCS冷端管路的噴水噴入調壓槽，將調壓槽頂部的蒸汽凝結，以防止調壓槽壓力上升達動力釋壓閥之設定點。

相反地，當反應爐之功率下降時，爐水溫度下降而收縮，調壓槽內爐水湧出，調壓槽之壓力降低，使其內部爐水閃化成蒸汽，如壓力仍下降，則須賦能電加熱器加熱爐水，使產生更多蒸汽量，維持調壓槽壓力高於反應爐低壓力跳脫設定點。當湧入時，將引起調壓槽水位高於程式水位，此時備用組加熱器亦將自動賦能，預先加熱從冷卻水迴路湧入調壓槽的過冷態爐水。調壓槽之水位可藉爐水控制系統來控制。

### B. 調壓槽設計容積需能滿足下列的需求：

1. 槽內飽和水和蒸汽膨脹容積之和，須足以提供由於爐水容積變化時所需之壓力反應。
2. 10%階變升載 ( Step Load Increase ) 時，須確保足夠的水容積，以防止加熱器未被冷卻水覆蓋。
3. 蒸汽容積須能容納負載由滿載突降100%，而反應爐及蒸汽排放系統在自動控制中，引起之冷卻水湧入時，不致引起反應爐高水位跳脫。
4. 蒸汽容積須夠大，以防止下述情況引起調壓槽內的飽和水從安全閥釋放出：  
當棄載時，控制棒未自動控制，蒸汽排放系統不動作，調壓槽高水位引起反應爐跳脫。
5. 反應爐和汽機同時跳脫後，不致引起安全注水系統動作。
6. 反應爐和汽機同時跳脫後，調壓槽的水不致流空。

## 二、調壓槽加熱器

### A. 功用

1. 當湧出時，因壓力降低將引起飽和水閃化成蒸汽，故必須藉力加熱器加熱飽和水以提升調壓槽之壓力，使調壓槽壓力高於反應爐低壓力跳脫設定點。
2. 當湧入，而調壓槽水位高於程式設計水位5%時，備用組加熱器自動賦能，預先加熱從熱端迴路湧入調壓槽的過冷 ( Subcool ) 態冷卻水。

## 三、調壓槽噴灑系統

### A. 功用

當湧入時，藉引自冷端迴路之噴灑系統，將調壓槽頂部的蒸汽凝結，以防止調壓槽壓力上升達到動力釋壓閥 ( Power Operated Relief Valve ) 開啟設定點。

## 四、調壓槽調節管路

調節管路之大小，須設計能限制最大預期湧入時引起的壓力上升，此壓力須低於迴路容許最高壓力。

## 五、調壓槽安全閥

### A. 概說

此安全閥係彈簧負荷自激式 (Self Actuated) 全密封急洩型 (Pop -Type) 和背壓補償，設計須符合ASME鍋爐和壓力槽法規第三節規定。安全閥之總容積必須等於或大於下列情況下引起冷卻水湧入調壓槽之注水率：100%棄載及反應爐未跳脫或無其他自動控制，假設只有二次系統安全閥開啟。

從調壓槽頂蓋管嘴到個別安全閥之連接管路，形成環封 (Loop Seal)。正常運轉時，由於熱損失到外界，形成凝結水聚積於環封處。此水封位於閥座下方，故可防止蒸汽和氫氣從安全閥洩漏到圍阻體，操作員可藉位於安全閥出口管路的溫度指示儀表來判斷安全閥洩漏或開啟。

## 六、調壓槽動力釋壓閥

動力釋壓閥之功用係當汽機卸載或跳脫，反應爐功率過高時，限制反應爐冷卻水系統的壓力，以防止反應爐因高壓力跳脫。本閥亦能避免安全閥之經常開啟。

本閥之設計亦考慮當汽機負載突降和95%階變降載(Step Load Decrease)且蒸汽排放系統動作情況下，限制調壓槽之壓力，可低於反應爐高壓力跳脫設定點。

## 七、調壓槽釋放槽 (PRT)

釋放槽之作用係冷卻和凝結從調壓槽動力釋壓閥和安全閥釋放出的蒸汽，位於圍阻體內的幾個管路過壓釋壓閥釋放出的液態水亦接到此釋放槽。

蒸汽經由埋於正常水位下的噴霧管(Spray Pipe)噴入此釋放槽，此種設計可藉與常溫水混合而將蒸汽凝結與冷卻成水。

釋放槽內水的容積必須能吸收排放蒸汽的熱量，且其水溫由初始溫度49 上升到93 。正常運轉時，若槽內溫度高於49 時，可藉噴水予以冷卻，或將槽內的溫水排放到反應爐冷卻水洩水槽 (RCDT)，再藉熱交換器予以冷卻。槽內氮氣的容積須能限制由於設計排放蒸汽引起的壓力升高，不致超過3.5kg/cm<sup>2</sup>

保護膜片 (Rupture Disc) 安裝於釋放槽上方，其釋放容量等於或大於調壓槽安全閥的總容量，釋放槽設計壓力 (即保護膜片能承受的最大爆破點) 係二倍於安全閥排放之最大計算壓力7kg/cm<sup>2</sup>。

## 八、釋放管路

從安全閥和動力釋壓閥排放到釋放槽的管路，必須能防止全流量排放時，安全閥處之背壓不超過安全閥設定點的20%。

## 貳、調壓槽壓力控制系統

### 一、概說

調壓槽壓力控制元件包括加熱器、噴灑閥、動力釋壓閥、安全閥和調節管路。本控制系統之設計須能容納系統引起的容積變化。在各種模式運轉下，此系統能限制因冷卻水迴路溫度變化引起之系統壓力變化，尤其當冷卻水系統承受下列負載暫態時，此壓力控制系統能維持正常的運轉而不致發生反應爐跳脫。

1. 5%/分的升載率且反應爐置自動控制。
2. 5%/分的降載率且反應爐置自動控制。
3. ±10%的瞬間負載暫態 (不能超過滿載功率)，且反應爐置自動控制。
4. 95%階變降載且控制棒自動控制和85%蒸汽排放。

### 二、調壓槽壓力控制元件

#### A. 加熱器

垂直貫穿調壓槽底蓋，分成五組，其中一組控制組，另四組為備用組。備用組只能全部同時使用或停止。控制組之輸出依調壓槽壓力成比例變化。

#### B. 噴灑閥

兩個噴灑閥，分別接於一號和二號冷卻水迴路的冷端，每一噴灑閥有一手動旁通閥，當正常運轉，噴灑閥全關時，保持0.13L/S的冷卻水經旁通閥流經噴水管路。其目的為使調壓槽和冷卻水迴路的硼液濃度隨時保持平衡，防止噴灑管路和調節管路發生過份冷卻，避免下次開啟噴灑閥時，使噴嘴發生熱應力和熱震現象。

#### C. 動力釋壓閥

三個動力釋壓閥，若動力釋壓閥發生洩漏時，操作員可藉上游的電動隔離閥將此迴路隔離。

#### D. 安全閥

三個自激式彈簧負荷安全閥，其目的為確保冷卻水系統壓力不致超過安全限值，以保護反應爐冷卻水系統之完整性。

### 三、調壓槽壓力控制與保護功能

A. **三個調壓槽壓力傳送器**，提供指示與保護信號；另二支主要提供控制用，而其中一支除提供保護外兼做控制用。設有兩控道可將調壓槽壓力顯示在記錄器上。控制盤上有五個壓力表，能隨時顯示調壓槽壓力。

#### B. 壓力傳送器提供下列保護線路

1. 調壓槽高壓力跳脫。
2. 調壓槽低壓力安全注水控制復歸，允許調壓槽低壓力而產生安全注水。同時允許主蒸汽壓力低產生主蒸汽隔離閥、主飼水隔離閥自動隔離及反應器跳脫，且閉鎖因主蒸汽壓力突降而致主蒸汽隔離閥隔離。
3. 允許閉鎖調壓槽壓力低安全注水及主蒸汽壓力低主蒸汽隔離閥隔離。且主蒸汽壓力低信號閉鎖後，允許主蒸汽壓力突降產生主蒸汽隔離閥隔離。
4. 調壓槽低壓力跳脫。
5. 安全注水系統動作。
6. OT T反應爐跳脫。(每個壓力控道各提供一迴路OT T設定點所需之RCS壓力信號。)
7. C-3，阻止控制棒抽出(自動和手動)，並產生汽機回退及禁止汽機加載。

#### C. 各種壓力警報

1. 調壓槽高壓力警報。
2. 調壓槽低壓力警報。
3. 調壓槽控制壓力低且加熱器賦能。
4. 調壓槽壓力低P-11。
5. 調壓槽高壓力部份跳脫。
6. 調壓槽低壓力部份跳脫。
7. 調壓槽動力釋壓閥PV444B閉鎖。
8. 調壓槽動力釋壓閥PV445A/B閉鎖。
9. 調壓槽低壓力安全注水。

D. **在控制盤上**備有一調壓槽壓力控制旁通開關。正常運轉時，控制系統自動選擇三支壓力傳送器的中間值作為控制與警報信號。當壓力控道控道的較高值來控制。

E. **當三支壓力傳送器中**有兩個控道被判定為失效(Not Valid)時，調壓槽壓力中間值將固定(Hold)於最後數值，且控制單元輸出需求信號也固定(Hold)於最後數值。此時運轉人員需將M/A控制站改為手動模式，手動調整控制單元的輸出需求信號，以控制調壓槽壓力。

F. **在控制盤上每一個噴灑閥M/A控制站**備有一只手動/自動(M/A)切換按鈕。當噴灑閥M/A控制站置於自動模式時，控制單元的輸出需求信號同時操作兩個噴灑閥。頂起閥之氣壓大小依調壓槽壓力上升的快慢而改變。當噴灑閥控制站故障(BAD)時，噴灑閥開度仍由控制單元的輸出需求信號控制。

G. **備用組加熱器A、B、D、E**，由控制盤上的選擇開關控制，可以選擇(OFF-AUTO-ON)

1. 當選擇開關置於"Auto"時，控制單元的輸出需求信號控制加熱器的使用與停止。因控制單元具有變化率敏感性(Rate Sensitive)，故賦能加熱器的實際壓力依冷卻水壓力的變化速率而改變。
2. 當+5%水位偏差時，備用組加熱器亦自動起動，預先加熱從冷卻水迴路湧入調壓槽的過冷態冷卻水，降低可能引起的壓力暫態變化。
3. 當選擇開關置於"ON/MANUAL"時，加熱器將連續保持賦能狀態直到調壓槽水位(中值控道信號)降到14%，此時加熱器將自動失能。

H. **控制組加熱器C組**，由控制盤上的選擇開關控制，可以選擇(OFF-ON)

1. 藉控制單元的輸出需求信號來控制控制組加熱器C組，本加熱器輸出功率依控制單元的輸出差值呈比例變動，當正常運轉在壓力157.1kg/cm<sup>2</sup>時，本加熱器保持一半的功率輸出。

2. 當調壓槽水位(中值控道信號)降到14%時，控制組加熱器C將自動停用。

#### I. 動力釋壓閥

1. 三個動力釋壓閥，其中一個具有變化率敏感性，藉控制單元的輸出差值信號來控制。另二個並不具有變化率敏感性，動力釋壓閥的壓力控制信號來自控道的中間值。
2. 動力釋壓閥之大小須能釋放由於95%負載階降引起的壓力暫態，而反應器不致發生高壓力跳脫。

#### J. RCS低溫過壓保護(Low Temperature Overpressure Protection)(LTOP)

1. 當RCS溫度降低，金屬延展性亦隨之降低，將無法承受設計之壓力負荷，因此需保護RCS不致過壓。
2. RCS低溫過壓保護設計壓力暫態：  
RCS及調壓槽滿水(Solid)時：  
喪失儀用空氣，導致引水隔離，充水控制閥全開(1台CCP充水流量 120gpm)。  
當S/G二次側水溫大於RCS冷端水溫達27.8 之高溫差下起動RCP。
3. RCS低溫過壓保護(LTOP)利用調壓槽動力釋壓閥提供RCS過壓保護。一個PORV即可有效的緩和任何潛在壓力暫態威脅。
4. 當RCS任一迴路Tcold < 125.6 時，LTOP系統需置入使用。當RCS三迴路Tcold均 125.6 之後才可停止使用。

## 參、調壓槽水位控制系統

### 一、

三個調壓槽水位傳送器，皆依運轉情況校正過，提供指示，控制和保護信號，另有一個水位寬幅傳送器僅用於冷爐運轉時，提供運轉人員指示用。在控制盤上備有一水位傳送器控道選擇開關(Channel Selector Switch)，正常運轉時，選擇三個傳送器的中間值作為控制與警報信號，當水位控道測試或傳送器故障時，運轉人員可藉此控道選擇開關選擇旁通該控道，而調壓槽水位自動由另外兩控道的較高值來控制。

- A. 當控制中的水位控道降至14%時，調壓槽低水位警報，同時跳脫調壓槽內所有加熱器，且關閉引水管路隔離閥，當調壓槽水位升達70%時亦提供一高水位警報信號。
- B. 中間值水位控道提供實際水位信號到控制單元，程式水位與實際水位在控制單元內比較，當實際水位低於程式水位5%時，低水位警報出現，當實際水位高於程式水位5%時，高水位警報出現，同時調壓槽備用組加熱器自動起動。

### 二、水位控制

- A. 選擇中間值Tavg (Median Tavg) 信號經由程式轉換為調壓槽程式水位，故調壓槽程式水位隨選擇中值Tavg的大小而改變，當0%功率時 (Tavg = 291.7 ) 調壓槽程式水位低限設定點為22.4%，當功率增加時，此程式水位將隨Tavg的增加而呈線性比例增加，直到100%功率 (Tavg = 308.8 ) 時，程式水位高限設定點為56.5%。
- B. 實際水位信號與程式水位信號在控制單元內比較後，輸出的差值信號經控制單元程式運算，再提供流量需求信號送至控制單元作為控制離心式充水泵出口流量控制閥的開度。
- C. 當三個水位傳送器中有兩個控道被判定為失效(Not Valid)時，調壓槽水位控制單元輸出需求信號固定(Hold)於最後數值。此時運轉人員需將M/A控制站改為手動模式(Manual)，手動調整控制單元的輸出需求信號，以控制充水泵出口流量控制閥的開度。
- D. 控制站故障(BAD)時，控制單元輸出需求信號也固定(Hold)於最後數值。此時運轉人員需將控制站改為手動模式(Manual)，手動調整充水泵出口流量控制閥的開度。
- E. 充水流量信號故障(BAD)時，充水流量控制單元輸出信號固定(Hold)於最後數值。此時運轉人員需將控制站改為手動模式(Manual)，手動調整充水泵出口流量控制閥的開度。
- F. 遙控停機盤也有一個充水流量控制站，當控制室撤離時，只要將充水流量控制單元置於MANUAL，即可控制充水泵出口流量控制閥的開度。控

制室兩個充水流量控制單元均置於MANUAL時，由遙控停機盤的充水流量控制單元取得控制權。

- G. 當充水流量控制單元控制站故障(BAD)時，由控制單元的輸出需求信號控制 充水泵出口流量控制閥的開度。
- H. 在控制盤上有一調壓槽水位紀錄器，將實際水位(三個水位傳送器之中間值)與程式水位同時記錄在水位記錄器上。

### 三、警報

- A. 調壓槽高水位警報。
- B. 調壓槽水位控制器高水位偏差/備用組加熱器起動。
- C. 調壓槽水位控制器低水位偏差。
- D. 調壓槽低水位，所有加熱器失能，引水（Letdown）隔離。
- E. 反應器部份跳脫（Reactor Partial Trip）。
- F. 調壓槽高水位反應爐跳脫。

## 肆、儀器和控制

### 一、溫度部份：

- A. 調壓槽蒸汽相（Steam Phase）溫度探測器，位於槽內頂部，當反應器起動期間，調壓槽充滿水時，探測水溫信號，其測得之溫度信號傳送到溫度指示和高溫警報。
- B. 調壓槽水相（Water Phase）溫度探測器，位於槽內近加熱器中心點，反應器冷爐（Cooldown）期間，由於蒸汽相溫度探測器反應較慢，故使用本探測器探測水溫信號，其測得之信號傳送到溫度指示和高溫警報。
- C. 調壓槽調節管溫度指示和低溫警報，當溫度降到269.4 時，低溫警報出現，此表示連續噴灑率太少。
- D. 安全閥和動力釋壓閥出口管路的溫度指示和高溫警報，當溫度高於室溫達11 時，意即相關閥發生洩漏。
- E. 每一噴灑閥迴路之水溫指示與警報用，當噴水水溫降到276.7 （530 ）時，警報出現，意即手動節流閥未達所需的開度，以提供噴灑迴路足夠的噴灑流量。
- F. 調壓槽釋放槽之水溫指示與警報，當高溫警報出現時，意即需要冷卻調壓釋放槽。
- G. 爐槽法蘭面O形封環洩漏管路之溫度指示與警報，當溫度高於室溫達11 時，高溫警報出現，操作員藉此警報來判斷O形封環洩漏。

### 二、壓力部份

- A. 三個調壓槽壓力傳送器提供下列信號：
  1. 控制室個別壓力指示儀表。
  2. 低壓力反應爐跳脫（三選二）。
  3. 反應爐控制與保護系統(OT T)。
  4. 高壓力反應爐跳脫（三選二）。
  5. 機組起動時，提供調壓槽壓力，安全注水信號自動復歸。
  6. 機組停機時，調壓槽壓力允許手動閉鎖安注水信號。
  7. 提供調壓槽壓力低安全注水動作。
  8. 其中一個同時提供調壓槽壓力控制。

- B. **控制用壓力傳送器**，正常時選擇中間值壓力信號提供高/低壓力警報，當高壓力時，開啟動力釋壓閥；中間值壓力並送信號到控制單元，其輸出需求信號控制調壓槽備用及控制組加熱器、噴灑控制閥及動力釋壓閥。
- C. **調壓槽釋放槽壓力傳送器**，提供信號至控制室供壓力指示計和高壓力警報之用。

### 三、水位部份

- A. **調壓槽水位傳送器**
  - 1. 提供反應爐控制與保護系統及爐水控制系統的控制信號，每個傳送器分別傳送信號到控制室水位指示計，當其中任兩個傳送器達高水位，且反應爐或汽機功率達10%以上時，使反應爐跳脫。
  - 2. 三個水位傳送器的中間值顯示於控制盤上的水位記錄器，本記錄器亦同時顯示調壓槽的程式水位。三個冷卻水迴路Tavg之中間值經由程式轉換為調壓槽程式水位，再送到水位控制單元作程式運算，故調壓槽的程式水位將依冷卻水的中間值Tavg而改變，而中間值Tavg則隨反應爐功率而改變，故低功率時調壓槽內水的容積將較高功率時少。
- B. 第四個獨立的調壓槽水位傳送器，且經低溫校正，當反應爐起動、停機和燃料更換時提供水位指示。
- C. 調壓槽釋放槽水位傳送器，提供控制室調壓槽釋放槽水位指示與高、低水位警報。

## 伍、運轉注意事項

### 一、調壓槽

- A. 機組正常運轉中，調壓槽內飽和蒸汽與噴水的溫差大於144 時，禁止開啟噴水閥。
- B. 當使用輔助噴灑時，必須緩慢操作。
- C. 每次反應爐起動前，必須查證安全閥未被箝住。
- D. 當水位低於14%時，禁止賦能調壓槽加熱器。
- E. 正常運轉中，值班員必須確認隨時保持連續噴灑流量流經噴灑管路。

### 二、調壓槽釋放槽

- A. 保持適當的氮氣壓力覆蓋於槽頂部，以防止空氣滲入槽內及防止氫-氧混合爆炸物的形成。
- B. 定期化驗槽內氣體成份，氧氣濃度必須小於5%（容積），氫氣必須小於4%。
- C. 當槽內側施行保養工作前，必須以空氣清除槽內氣體。
- D. 當槽內壓力超過0.7kg/cm<sup>2</sup>時，禁止將槽內氣體排放到廢氣處理系統的逸氣集管。