

化學與體積控制系統

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

1

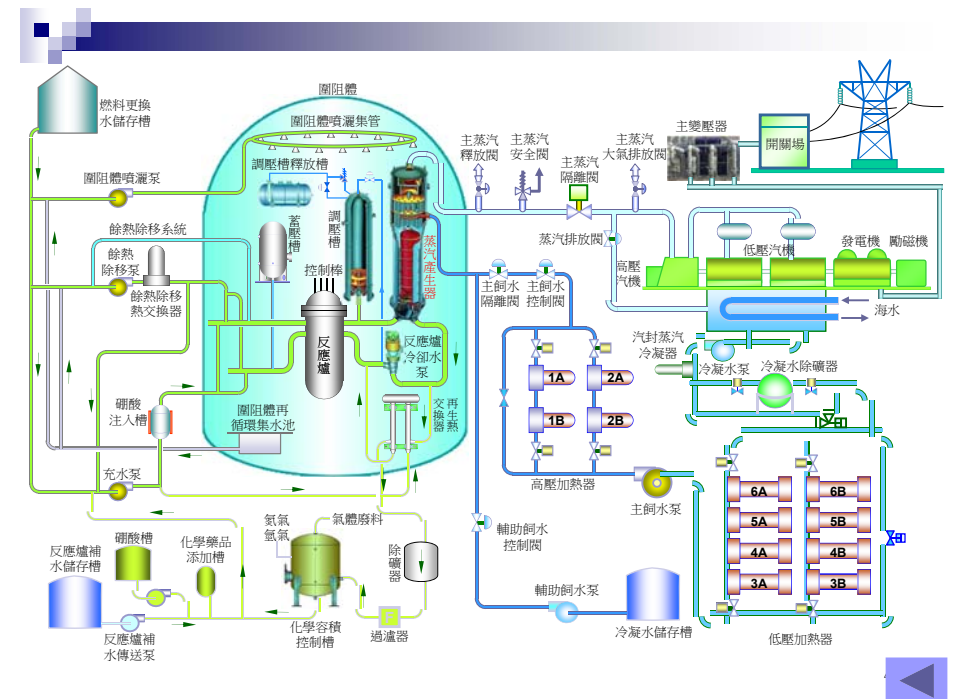
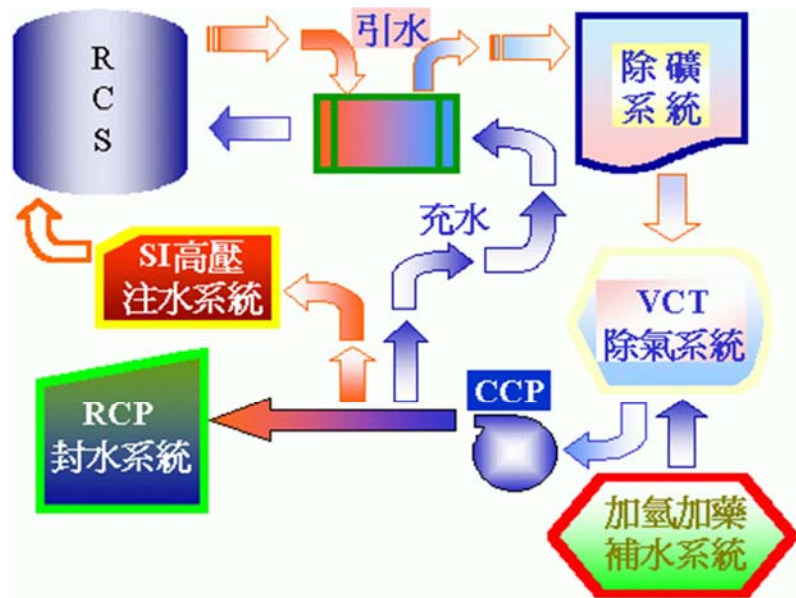
課程內容

- 系統功能
- 組件說明
- 系統說明

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

2



壹、系統功能

- 一、維持調壓槽的程式水位。
- 二、提供反應爐冷卻水泵的軸封注水。
- 三、控制爐水的化學性質與放射性強度。
- 四、提供反應爐冷卻水系統補水或洩水。
- 五、事故時，提供高壓安全注水。

貳、組件說明

- 一、再生熱交換器 (Regenerative Heat Exchanger): 利用高溫引水 (Letdown Flow) 加熱反應爐充水 (Charging Flow)。
 - ◆ 一方面藉以回收引水之熱能。
 - ◆ 另方面可減少因低溫充水進入爐心時引起的反應度變化，且充水與RCS管路銜接處熱應力也得以減少。
 - ◆ 因引水溫降不夠時，引水限流孔下游的引水就會發生閃化現象。
 - ◆ 引水經過殼側，充水經過管側。

貳、組件說明

- 二、三個引水限流孔器: 限制流量分別為 $17\text{m}^3/\text{hr}$ ， $13.6\text{m}^3/\text{hr}$ ， $10.3\text{m}^3/\text{hr}$ ，以降低從爐心流出的冷卻水壓力，並且控制爐水離開反應爐冷卻水系統的流量。
 - ◆ 這些限流器能個別的遙控操作啟用或停用。
 - ◆ 設計上，正常運轉時，使用一個限流器，另二個限流器則作為備用。
 - ◆ 當RCS壓力偏低時，需並聯啟用備用限流器，來提升流量。

貳、組件說明

- 三、引水熱交換器: 利用核機冷卻水 (CCW) 將引水冷卻到 46°C ，控制充水泵提供反應爐冷卻水泵第一號封環之水溫於某一範圍內。
 - ◆ 引水的流路是經過單殼多通道熱交換器的管側，核機冷卻水 (CCW) 流經殼側。
 - ◆ 引水的正常運轉壓力受壓力控制閥 (PV-145) 控制，維持上游壓力為 $24.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

貳、組件說明

五、容積控制槽(VCT):

- ◆ 供給氫氣溶於爐水，保持爐水溶氫需求濃度的平衡。
- ◆ 設計能容納反應爐停機時爐水水量的變化和供給充水泵的吸取水頭。
- ◆ 放射性氣體持續不斷的沖放到廢料處理系統 (Waste Processing System)。
- ◆ 當反應爐水水溫提升後，體積增加，此增加的爐水可經由引水管路排到容積控制槽 (VCT) 儲存。

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

9

貳、組件說明

六、三台離心式充水泵:

- ◆ 正常狀況下，運轉一台充水泵從容積控制槽取水：
 - 供給 $13.6\text{m}^3/\text{hr}$ 流量之充水到反應爐冷卻水系統。
 - 另供給 $5.5\text{m}^3/\text{hr}$ 流量到反應爐冷卻水泵一號軸封。
- ◆ 在冷卻水流失事故時，兩台充水泵從燃料更換水儲存槽取水注入RCS冷卻水迴路，此為安全注水系統的一部份。
- ◆ 取水源:容積控制槽、反應爐水補充系統、燃料更換水儲存槽。

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

10

貳、組件說明

七、額外引水熱交換器 (Excess Letdown Heat Exchanger) :

- ◆ 當正常引水停用或需較大引水流量時啟用。
- ◆ 將 292°C (冷端溫度) 之引水降溫到 73.8°C ，引水流經管側，核機冷卻水流經殼側。
- ◆ 該引水流量=RCP一號封環流入爐心的封水流量。

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

11

貳、組件說明

八、封水熱交換器冷卻三個來源的水流:

- ◆ RCP封水回流到VCT的水流。
- ◆ 額外引水熱交換器來的水流。
- ◆ 離心式充水泵的再循環最小流量水流。
- ◆ 設計容量:降低最大總和流量之水溫到 46°C 。

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

12

貳、組件說明

九、混合床除礦器保持反應爐冷卻水的純度：

- ◆ **Lithium-type**陽離子樹脂和**OH-type**陰離子樹脂填放在這除礦器內。這兩種樹脂移除分裂和腐蝕產物。
- ◆ 每個除礦器的容量能容納最大的引水流量。

貳、組件說明

十、陽離子除礦器，位於混合床除礦器的下游，與一次系統水處理之LiOH配合使用，作為爐水pH之控制。

- ◆ 設計考慮：基載運轉，爐心區域反應估計的Li-7的產量。
- ◆ 如果有1%燃料破損時，仍可保持反應爐冷卻水中銫（Cesium）的濃度低於1.0 μ ci/cc。
- ◆ 構造與混合床除礦器相同。

參、系統說明

一、正常引水系統（Letdown System）

- (1) 正常引水由反應爐冷卻水系統第一迴路的跨管，經過二個引水隔離閥LV-460和LV-459引出，如果洩漏時，引水隔離閥可把引水系統和反應爐冷卻水系統隔離。
- ◆ 手動開啟引水隔離閥(自控制盤)，必須符合下列條件：
 - (1) 所有引水限流隔離閥(HV-001、HV-002和HV-003)必須關閉。
 - (2) 調壓槽的水位必須大於14%。
 - (3) 隔離閥的操作氣壓必須正常。
 - (4) 圍阻體隔離閥BG-HV047和BG-HV004均已開啟。

一、正常引水系統

- ◆ 手動關閉(由控制盤)引水隔離閥時，所有的引水限流隔離閥（HV-001、HV-002和HV-003）將自動關閉。
- ◆ 設置引水限流隔離閥連鎖的原因是：**確實維持再生熱交換器和反應爐冷卻水系統處於相同壓力，以避免引水在熱交換器內發生閃化成蒸汽而損害再生熱交換器之管壁。**

一、正常引水系統

◆ 在下列兩種情況下，引水隔離閥會自動關閉：

a. 調壓槽低水位，小於14%。

調壓槽水位計LT459、LT-460及LT-461取中間值同時控制LV-459及LV-460。

b. 引水隔離閥失去控制信號。

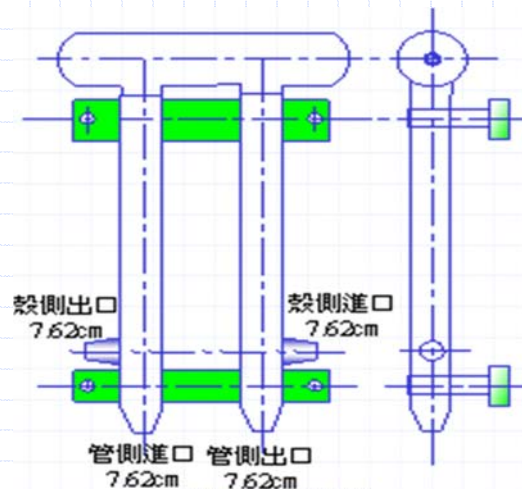
c. 圍阻體隔離閥BG-HV047或BG-HV004關閉。

d. 喪失操作氣壓。

一、正常引水系統 (Letdown System)

(2) 再生熱交換器把引水溫度降低至143.3℃，再生熱交換器出口設有溫度探測器，當引水溫度超過201.7℃時，控制盤警報動作。

再生熱交換器



一、正常引水系統 (Letdown System)

(3) 三個引水限流器並聯，控制引水流量和降低引水壓力，每個引水限流隔離閥設計有107.2kg/cm²的正常差壓，三個引水限流器設計能控制的流量分別為：17 m³/hr，13.6m³/hr，10.3 m³/hr。

一、正常引水系統 (Letdown System)

(4) 引水限流隔離閥用來控制引水限流器的使用，引水限流隔離閥HV-003用來控制17 m³/hr的引水限流器，閥HV-002用來控制13.6 m³/hr引水限流器，而閥HV-001用來控制10.3m³/hr的引水限流器。

一、正常引水系統 (Letdown System)

- ◆ 必須符合下列條件，才能自控制盤手動開啟限流隔離閥：
 - a. 調壓槽水位必須大於14%。
 - b. 引水隔離閥LV-459和LV-460均已開啟。
 - c. 閥的操作氣壓必須正常。
- ◆ 在下列情況下，引水限流隔離閥會自動關閉：
 - a. 調壓槽水位小於14%。
 - b. 引水隔離閥LV-459和LV-460任何一個關閉。
 - c. 失去操作氣壓(F.C)。

一、正常引水系統 (Letdown System)

(5) 圍阻體隔離閥HV-047和HV-004:

- ◆ 皆為空氣操作閥。
- ◆ 當失去操作氣壓時，自動關閉(F.C)。
- ◆ 當發生Phase A隔離信號時，隔離引水系統。

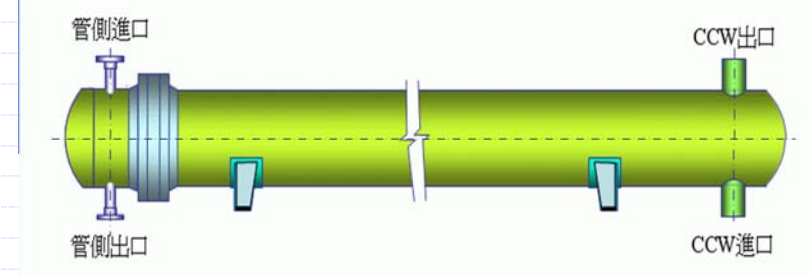
一、正常引水系統 (Letdown System)

- (6) 餘熱移除(RHR)系統引水控制閥HV-142，控制從餘熱移除系統到爐水控制系統的流量。
- ◆ 反應爐停機時，一次系統水溫須藉由餘熱移除系統控制時，引水流量從餘熱移除系統，經控制閥HV-142引到化學與容積控制系統來淨化反應爐冷卻水。
- ◆ 正常功率運轉時，HV-142係關閉和隔離中。

一、正常引水系統 (Letdown System)

- (7) 引水熱交換器是一個U形管熱交換器，用核機冷卻水 (CCW) 冷卻。
- ◆ 核機冷卻水控制閥TV-144，係由引水熱交換器出口溫度自動控制其開度，使引水出口溫度維持 46°C 。
- ◆ 引水熱交換器出口水溫高達 54.4°C 時，控制盤高溫度警報動作。

引水熱交換器



一、正常引水系統 (Letdown System)

- (8) 若引水流量增加到 $29.5\text{m}^3/\text{hr}$ ，則控制盤高引水流量警報動作，最大容許引水流量為 $27.3\text{m}^3/\text{hr}$ 。
這個限制是為防止除礦器的樹脂造成槽道 (Channeling)。

一、正常引水系統 (Letdown System)

- (9) 低壓力引水控制閥PV-145自動保持引水限流器下游壓力於 $24.6\text{Kg}/\text{cm}^2$ 。
- ◆ 理由: 為了防止引水水流流經限流器後，高溫水流因水壓降低而閃化為蒸汽。
- ◆ 當反應爐冷卻水系統滿水 (Solid) 運轉時，藉此低壓力引水控制閥來控制調整反應爐冷卻水系統的壓力。

一、正常引水系統 (Letdwon System)

(10) 引水溫度轉換閥TV-143:

- ◆ 當引水水溫上升到 57°C 時，自動轉向，將水流通往容積控制槽，不經過混合床除礦器，以避免樹脂過熱而損壞
- ◆ 該閥為空氣操作三通閥，當失去操作空氣時，自動轉向通往容積控制槽。

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

29

二、容積控制槽 (Volume control tank)

(1) 容量: 11328公升 (約3000加侖)

(2) 作用:

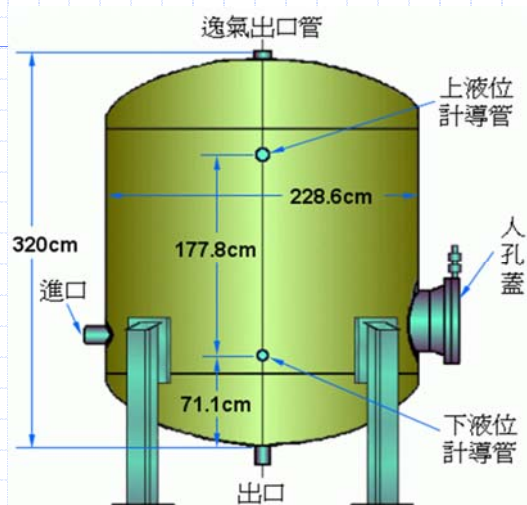
- ◆ 提供反應爐冷卻水泵(RCP)一號封環洩漏水流之背壓，以確保部份封水水流流往二號封環。
- ◆ 提供離心式充水泵(CCP)的淨正吸水頭(NPSH)。
- ◆ 正常運轉時，維持反應爐冷卻水溶氫含量，以控制反應爐冷卻水溶氧含量。
- ◆ 反應爐冷卻水系統的調節槽。
- ◆ 反應爐冷卻水系統的除氣槽。
- ◆ 反應爐冷卻水系統的補水水源。

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

30

容積控制槽(VCT)



2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

31

二、容積控制槽 (Volume control tank)

(3) 反應爐正常運轉時，氫氣經由壓力調節閥PCV-013引進容積控制槽，保持容積控制槽氫氣壓力於 $1.75\text{Kg}/\text{cm}^2$ 。

- ◆ 確保反應爐冷卻水系統(RCS)溶氫濃度為25至35cc/Kg，以控制水中溶氧量。

(4) 當反應爐冷停機或燃料更換時，氫氣經由壓力調節閥PCV-012引進容積控制槽，並藉由沖放至氣體廢料系統，來移除容積控制槽內的氫氣，使反應爐冷卻水系統水中溶氫低於5cc/Kg。

- ◆ 調節閥PVC-012保持 $1.5\text{Kg}/\text{cm}^2$ 的氫氣壓力。

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

32

二、容積控制槽 (Volume control tank)

- (5) 容積控制槽壓力達到 5.3Kg/cm^2 時，釋壓閥PSV-011動作釋壓到設備洩水槽。
- (6) 容積控制槽的排氣閥PV-117用以引導容積控制槽的氣體到氣體廢料系統，控制容積控制槽的氣壓在 1.5Kg/cm^2 ，正常運轉時連續不斷的沖放氣體到氣體廢料系統。
- ◆ 當容積控制槽 (VCT) 低壓力(1.15Kg/cm^2)時，閥PV-117會自動關閉。

三、充水系統 (Charging System)

- (1) 容積控制槽出口隔離閥LV-115C和LV-115E為正常開啟，容積控制槽提供充水泵的吸取水頭。
- ◆ 安全注水信號動作，或VCT水位傳送器LT-115及LT-112均達過低水位(5%)時，LV-115B和LV-115D(RWST到充水泵入口集管)自動開啟後，隔離閥LV-115C和LV-115E才自動關閉。
- ◆ 當水位傳送器LT-115/LT-112任一回升到10%時，隔離閥才能手動打開。(圖9-4)

三、充水系統 (Charging System)

- (2) BC-HV105、HV-205:
 - ◆ 由餘熱移除系統(RHR)熱交換器出口連接到充水泵入口集管之隔離閥。
 - ◆ 熱端 (Hot leg) 或冷端 (Cold leg) 再循環時，餘熱移除系統(RHR)水泵由圍阻體再循環集水池取水，泵送至充水泵入口集管。
- (3) 正常運轉時，一台充水泵由容積控制槽取水，充水到反應爐冷卻水系統和反應爐冷卻水泵一號封環。
- ◆ 充水泵是900馬力的馬達帶動，電力是由4.16 KV特殊安全設施匯流排供給， 176.8Kg/cm^2 時流量率是 $34\text{m}^3/\text{hr}$

三、充水系統 (Charging System)

- ◆ 冷卻水流失事故(LOCA)時，兩台充水泵自動起動，由燃料更換水儲存槽(RWST)取水泵送入爐心。
- ◆ 充水泵再循環最小流量，從每一充水泵轉向到封水熱交換器進口，這最小流量的目的是保護離心式充水泵在低流量運轉時泵不會過熱。

三、充水系統 (Charging System)

- (4) 三個離心式充水泵的最小流量隔離閥HV-025、HV-026、HV-024和HV-030連結，在接受安全注水信號時，會自動關閉，以確保充水泵的充水流量，能有效供給安全注水和反應爐冷卻水泵的封水。
- (5) 離心泵的流量是由FV-122自動隨調壓槽的水位來控制，假如FV-122故障，則手動開啟旁通閥以控制流量。

三、充水系統 (Charging System)

- (6) BG-HV-186:
 - ◆ 充水流量到反應爐冷卻水泵水封流量調節閥，由控制盤手動操作，假如HV-186故障，則手動開啟旁通閥控制。
- (7) 充水管路圍阻體隔離閥HV-036、HV-037係串聯連結在一起，接受安全注水信號時與圍阻體隔離，此閥可以在控制盤手動關閉。

三、充水系統 (Charging System)

- (8) 再生熱交換器係利用引水加熱充水，藉以回收引水的熱能，同時減少因低溫充水進入爐心時引起反應度的變化，且降低充水與反應爐冷卻水系統管路銜接處因溫差產生之熱應力。
 - ◆ 再生熱交換器在正常狀況下，可以加熱充水到246℃。

三、充水系統 (Charging System)

- (9) **正常的充水**流量，經充水隔離閥HV-038到反應爐冷卻水系統的第二迴路冷端。
 - ◆ **後備充水**則經HV-039流入反應爐冷卻水系統的第一迴路冷端。

三、充水系統 (Charging System)

- (10) 調壓槽輔助噴灑閥HV-040位於再生熱交換器的出口端，當反應爐冷卻水泵(RCP)停止運轉時，使用輔助噴灑降低調壓槽壓力。
 - ◆ 使用輔助噴灑時，剛開始必須緩慢開啟，然後逐漸增大。
 - ◆ 調壓槽和調壓槽噴灑流體的溫差最大不可超過144℃，以限制噴嘴噴灑時最小的熱應力。

四、封水系統 (Seal Water System)

- (1) 封水注入關斷閥HV-052，HV-051，HV-050，用來隔離封水注入到每一台反應爐冷卻水泵之水流。

四、封水系統 (Seal Water System)

- (2) 一號封水洩漏隔離閥HV-046、HV-045、HV-044：
 - ◆ 當RCP No. 1封環損壞，導致洩漏流量超過限值時，用來隔截一號封環，使二號水封環仍能正常運作。
- (3) 封水回流集管圍阻體隔離閥HV-048、HV-049：
 - ◆ 接收到圍阻體A相隔離信號 (Phase-A:CISA) 時，自動關閉。

四、封水系統 (Seal Water System)

- (4) 封水熱交換器
 - ◆ 水流來自：
 - ◆ 反應爐冷卻水泵一號水封環洩漏
 - ◆ 額外引水熱交換器
 - ◆ 離心式充水泵再循環最小流量
 - ◆ 利用核機冷卻水(CCW)冷卻。

五、額外引水系統 (Execss Letdown System)

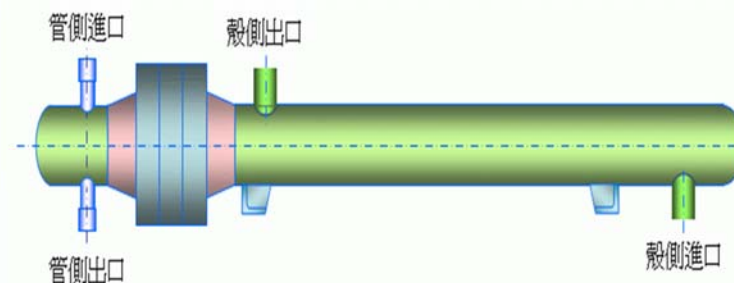
- (1) **額外引水**系統是在**正常引水**系統不能使用時，係用來保持引水和充水的流量平衡或需要增加引水的流量時啟用，額外引水是從反應爐冷卻水系統第三迴路跨管處取水經隔離閥HV-041，HV-042到額外引水熱交換器。
- (2) **額外引水**熱交換器，核機冷卻水流經殼側，可以降低引水水溫到 87.8°C ，水溫升達 99°C 時，控制盤出現警報。

2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

45

額外引水熱交換器



2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

46

THE END

敬請指教

謝謝！

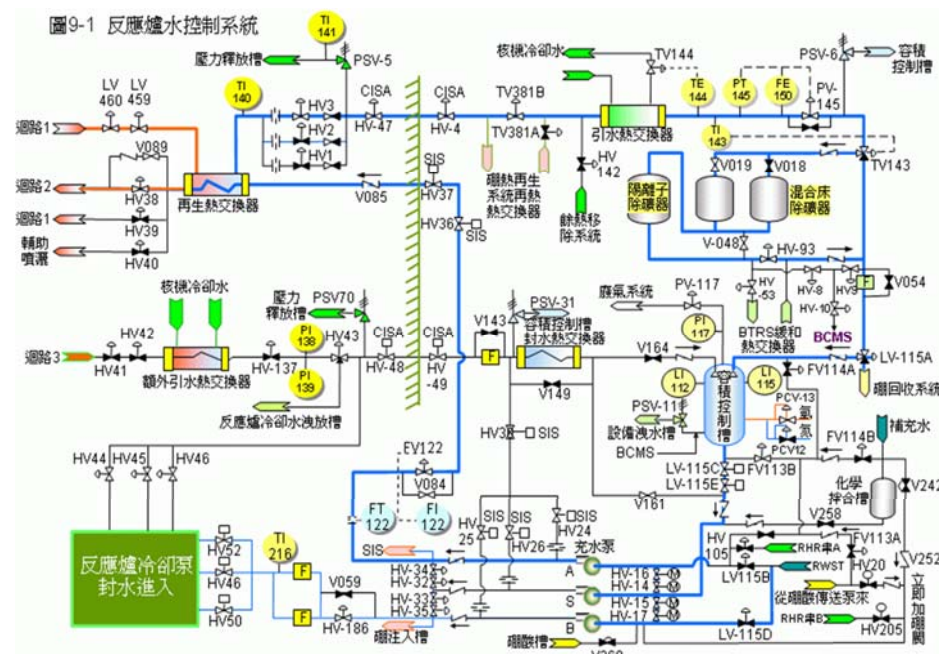


2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

47

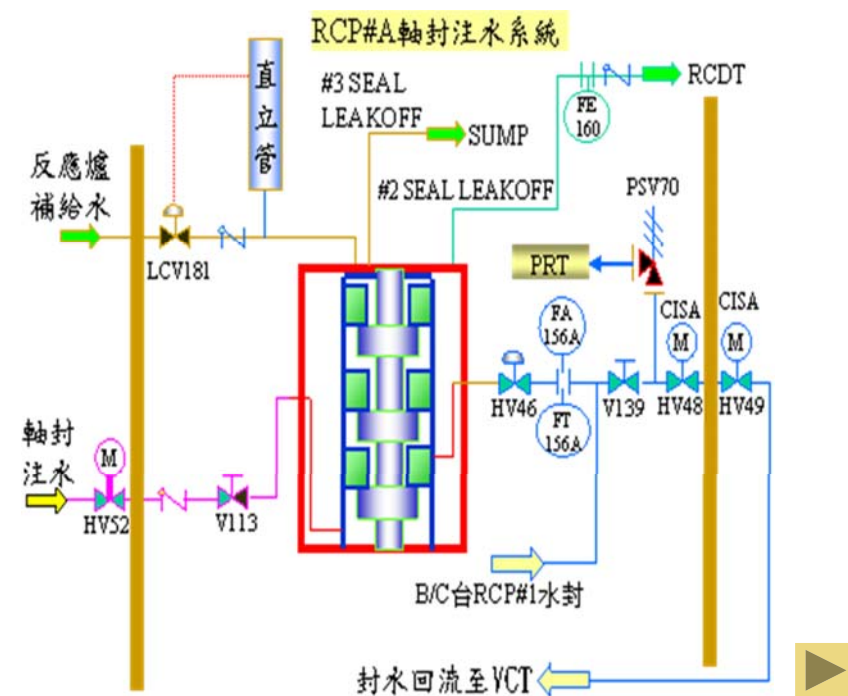
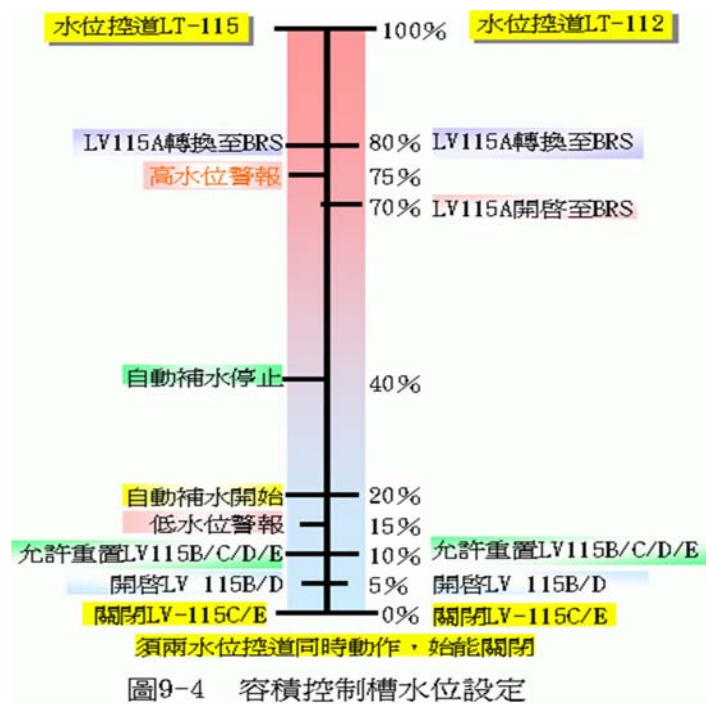
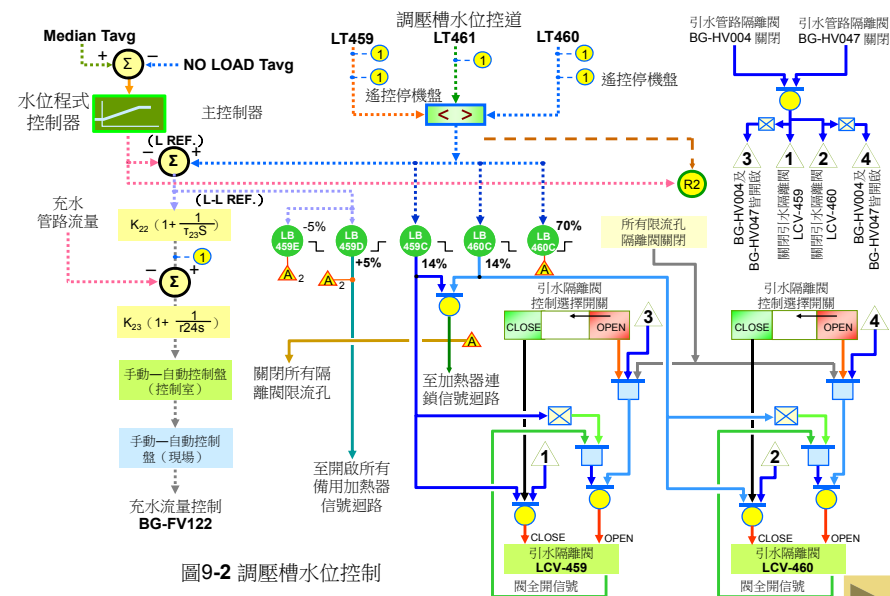
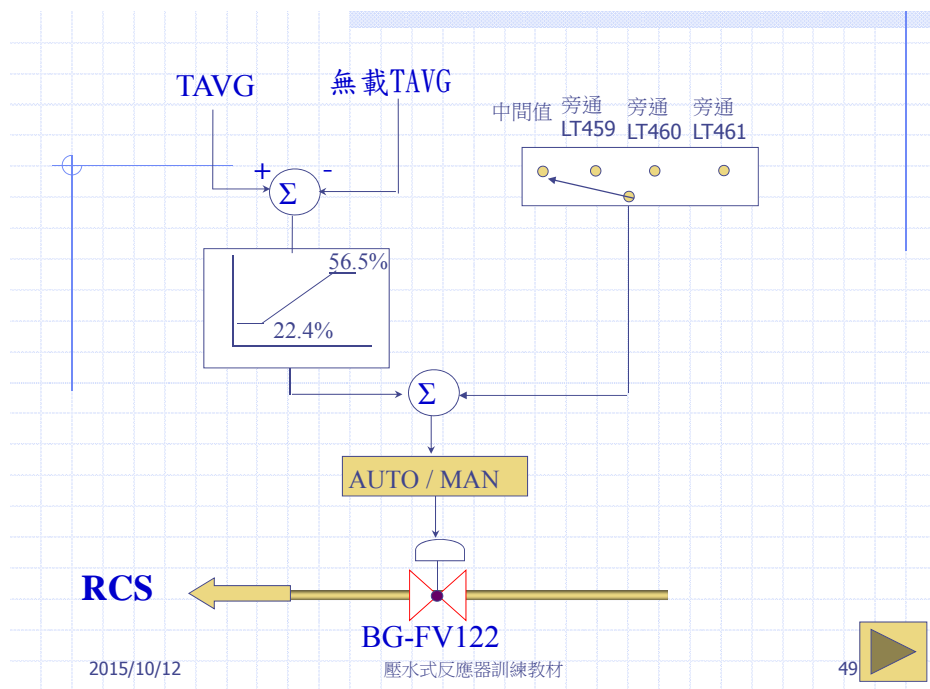
圖9-1 反應爐水控制系統



2015/10/12

壓水式反應器訓練教材

48



自我評量

- ◆ 手動關閉引水隔離閥BG-LV460和BG-LV459時，所有的引水限流隔離閥（HV-1、HV-2和HV-3）將自動關閉，設置引水限流隔離閥連鎖自動關閉的原因是？

答：確實維持再生熱交換器和RCS處於相同壓力，以避免引水在熱交換器內發生閃化。

- ◆ CVCS之正常引水系統不能使用時，需使用何種引水，以保持引水和充水的流量平衡，進而達成調壓槽水位穩定於某一水位？