**第二十八章 燃料池冷卻與淨化系統**

壹、前　言

1.池水冷卻用過燃料元件時，吸收大量衰變熱能，使池水溫度升高，若無適當方法抑制水溫，可能導致燃料元件過熱而遭受損壞，亦可能因池水沸騰而污染燃料操作區域之空間。

2.用過燃料的放射性分裂產物，可能經由破損之護套漏出，污染用過燃料池，使池水聚積放射性分裂產物，不但增加水池內輻射量，亦可能自水中逸出，進入反應爐廠房或燃料廠房空間，成為空浮放射性物質(Airborne Rad.)。

3.用過燃料池中，有大量不鏽鋼、鋯合金和鋁金屬設備，若池水水質不良，極易發生腐蝕現象。同時，池水聚積過量之腐蝕產物，減低池水能見度，影響燃料操作之水中作業。

貳、設置目的

1.移除用過燃料元件所釋出之衰變熱能，維持池水適當水溫，防止用過燃料元件過熱。

2.保持用過燃料池正常水位，作為適當之輻射屏蔽，並減低放射性物質自池中逸出機會。

3.維持池水適當水質，減少腐蝕作用。

4.減少池中腐蝕產物和分裂產物之濃度，維持適當之能見度，便利燃料操作之水中作業。

參、設計基準

燃料池冷卻與淨化系統，依照設計功能，可分為三個部份：正常燃料池冷卻及淨化、異常燃料池冷卻及緊急補水。其中，異常燃料池冷卻及緊急補水設備屬耐震強度第一類設計( Seismic Category I)。

**A.安全設計基準**

1.異常燃料池冷卻

（1）必須具備調節用過燃料池水溫之能力，並能維持池水適當水位，形成足夠之輻射屏蔽，使用過燃料池四周之輻射強度符合放射性區第二級之標準(0.025msv/hr)。

（2）在異常運轉狀況下，維持池水溫度低於150℉。

2.緊急補水

（1）即使在單一故障(Single Failure)情形下，當用過燃料池發生沸騰現象時，必須能提供足夠之補充水源以維持池水水位。

（2）即使在單一故障情形下，用過燃料池池水洩漏率達到50gpm時，必須能提供足夠之補充水源以維持池水水位。

（3）在冷卻池全部裝滿用過燃料及充滿不含硼之水，或發生地震事故時，必須保持Keff≦0.95。

**B.發電設計基準**

1.減少腐蝕產物的聚積，控制用過燃料池和反應爐廠房上燃料池(Upper Pool)池水之純淨，便利燃料元件之水中作業。

2.降低用過燃料池和上燃料池中分裂產物之濃度，防止自池中逸出而污染燃料廠房和反應爐廠房。

3.在正常情況下，提供用過燃料池補充水，補償因池水蒸發之損失。

4.能調節用過燃料池水溫及維持池水適當水位，形成足夠之輻射屏蔽，使用過燃料池四周之輻射強度符合放射性區第二級之標準(0.025msv/hr)。

5.在正常運轉狀況下，維持池水溫度低於130℉。

肆、系統概述

燃料池冷卻與淨化系統額定容量，為每12小時循環處理用過燃料池、上燃料池與燃料傳送渠(Transfer Canal)池水一次。除異常燃料池冷卻使用餘熱排除系統 (RHR)部份設備外，本系統由二台燃料池泵(Fuel Pool Pump)、二組熱交換器、二組過濾式除礦器、一個洩水槽(Drain Tank)、二台緊急補水泵(Emergency Makeup Pump)和其他有關設備、管路、操作閥及儀控系統所組成。本系統是應用熱交換器移除池水吸收之衰變熱量，維持適當水溫；並使用過濾式除礦器淨化池水，維持適當水質，減低分裂產物和腐蝕產物之濃度。正常運轉時，池水沿池邊之溢流口 (Skimmer)溢流至洩水槽，燃料池泵自洩水槽汲水，泵送通過熱交換器和過濾式除礦器，然後自靠近用過燃料池池邊和上燃料池底部之擴散管(Diffuser)流回，構成一循環。

伍、設備說明

**A.燃料池泵**

1.二台離心泵並聯設置。

2.每台具有100％正常系統設計容量。

3.每台設計流量1360gpm。

4.直接設在洩水槽下方，藉位差獲得NPSH。

**B.熱交換器**

1.共有二具熱交換器，每具熱交換器具有100％設計容量。

2.管側為燃料池水，設計流量6.8×1051b/hr，設計壓力254psig，設計溫度180℉。

3.殼側為核機冷卻水(NCCW)，設計流量1.13×1061b/hr，設計壓力為150psig，設計溫度180℉。

4.為了減低池水蒸發率，防止水中放射性被騰帶而成為空浮放射性，池水正常溫度設定在130℉。

**C.過濾式除礦器**

1.共有四組並聯設置，各具有100％之系統設計容量，其中第一組(OF-16A)供一號機燃料池使用。第二組(OF-16B)供二號機燃料池使用。第三組(OF-16C)作為其它兩組之共同備用。第四組(OF-16D)供廢料系統使用。

2.過濾介質是粉狀樹脂，靠水壓積敷於不繡鋼蕊管上，除礦器進出口壓力差過高表示耗竭。

3.每組過濾式除礦器設計流量1300gpm，設計溫度150℉。

4.下游設有後濾器，防止過濾介質侵入燃料池。

5.每組設有一支持泵(Holding Pump)，於出口水流過小時(200gpm)，自動起動維持適當流量，保護過濾介質。

6.附屬設備包括一預敷泵和有關儀控系統，用以逆洗沖放耗竭樹脂至廢料處理系統，然後預敷新樹脂。

7.維持池水水質

|  |  |
| --- | --- |
| * 導電率(25℃) | 2　微姆歐/cm |
| * 氯離子(Cl-) | ≦0.1 ppm |
| * PH(25℃) | 5.3～7.5 |
| * 重元素(Fe、Cu、Hg、Ni) | 0.1ppm |
| * 濁度 | < 1ppm |

8.燃料添換期間，爐水淨化系統(RWCU)可與本系統同時使用，澄清池水。

**D.用過燃料池**

1.每一部機有兩個用過燃料池，設在燃料廠房內，為鋼筋混凝土牆，表面全部襯以不鏽鋼板。池內大部份區域設置鋁質燃料架以貯存用過燃料。

2.池內為乾淨除礦水，水位最低保持在用過燃料及架構頂端23呎以上，若燃料運送閘門(Fuel Transfer Gate)破損漏水時，用過燃料池最少尚可保持高於儲放燃料元件8呎以上的水位。

3.設計容量可容納4398組燃料元件。

4.即使用過燃料池結構或設備發生單一故障，亦不允許造成下列現象：

（1）喪失用過燃料浸於水中之功能。

（2）維持池水正常水位之功能失效。

（3）冷卻池水之功能失效。

5.所有管路之進口、出口或洩水，不能使燃料池水洩至低於安全屏蔽之水位。

6.所有延伸至低於安全屏蔽水位之管路，必須加裝虹吸破除器(Siphon Breaker)和止回閥，以防止不正常洩水。

7.正常運轉時，由凝結水傳送泵(Condensate Transfer Pump)補水。

8.在不鏽鋼襯板後面，設有相連之洩水通路，其功用如下：

（1）防止不鏽鋼襯板與混凝土牆間壓力過高。

（2）防止污染過之池水在無控制之情況下，洩漏至其他乾淨區域。

（3）便於偵測洩漏情況。

9.裝設用過燃料池注水與噴灑管路，可利用移動式設備提供用過燃料池燃料之緊急注水與噴灑。

**E.燃料傳道渠**

1.從反應爐移出之用過燃料，先移至上燃料池，然後經由斜面燃料傳送系統(Inclined Fuel Transfer System)轉移至燃料廠房內之燃料傳送渠。

2.燃料傳道渠與用過燃料池之間，有一傳送閘門(Transfer Gates)，必要時可以隔離用過燃料池，將傳送渠內池水洩掉，以便燃料傳送系統之維護。

**F.上燃料池**

1.正常運轉時，具有輻射屏蔽作用。

2.在添換燃料期間，提供汽水分離器與蒸汽乾燥器之儲放。

3.作為壓力抑制池之後備水源。

**G.洩水槽**

1.洩水槽收集從溢流口溢出之池水，供給燃料池泵之NPSH。

2.容量5000gal，足以容納最大機件沈入燃料池或反應爐穴所溢出之水量。

3.過低水位使燃料池泵跳脫。

**H.緊急補水泵**

1.在緊急情況下，提供用過燃料池與上燃料池補充水源。

2.從凝結水儲存槽(CST)汲水。

3.二台離心泵並聯作用，各具100％設計容量。

4.每泵設計流量50gpm。

**I.護箱裝載池**

1.功用：提供用過燃料裝箱場地，與燃料儲存池分離而不影響用過燃料之儲存。

2.水池內襯以不鏽鋼板，空護箱放入後，水池即可灌水，然後開啟閘門，將用過燃料運入護箱水池裝箱。

3.水池由CST供給純淨之除礦水，排水經燃料池冷卻與淨化系統送回CST或排至廢料處理系統。

4.燃料裝入護箱後，裝回閘門，將護箱水池水放光。

5.護箱移出廠房前，先經護箱去污池(Cask Wash Down Pool)，利用除礦水沖洗之。

陸、系統運轉

**A.正常運轉模式**

燃料池冷卻及淨化系統是一封閉系統，在正常運轉時，維持用過燃料池、反應爐廠房上燃料池及燃料傳送渠所需水質，並維持池水溫度低於130℉。

在正常運轉時，用過燃料池最多可容納37％本次爐心用過燃料，加上已儲存前幾次添換燃料時移出的燃料。此時，運轉一台燃料池泵、一台熱交換器，循環用過燃料池與上燃料池池水，維持水溫低於130℉，必要時由節流閥控制，使部份池水流過過濾式除礦器組加以淨化，然後再送回用過燃料池和上燃料池。在燃料添換期間，本系統可有兩種不同之流程：

1.一迴路冷卻用過燃料池；另一迴路則淨化上燃料池池水，以便儘快獲得較佳之能見度。

2.一迴路冷卻用過燃料池和上燃料池；另一迴路則用來作護箱裝載池(Cask Loading Pool)之快速洩水用。上燃料池之洩水，可排至壓力抑制池或廢料調節槽(Radwaste Surge Tank)，水質合乎規範時，可經EC-LV-268送回CST。

**B.異常運轉模式**

利用RHR A迴路或B迴路，在正常燃料池冷卻系統因強震受損或熱負載過大時，作為後備冷卻系統。在異常運轉時，用過燃料池與上燃料池能夠容納100％前幾次爐心用過燃料，加上37％本次爐心用過燃料(假設已經過一星期衰變)，再加上前幾次添換燃料時移出之用過燃料。任一迴路部份流量加上RHR熱交換器，可以維持用過燃料池溫度不大於150℉；在異常運轉時，池水不須淨化，RHR泵取自池水正常水位下方之進口穿越器(Suction Penetration) ，並裝有漩渦消除器(Vortex Breaker)，直接從用過燃料池抽水，冷卻後經由擴散口再打回池中。如果碰到ECCS系統必須起動時，電動閥會自動隔離用過燃料池，這時用過燃料池之冷卻水，須由緊急補水系統供應。

**C.緊急運轉模式**

在正常系統和RHR管路均不能用來冷卻用過燃料池時，池水溫度允許升高到212℉(池水沸騰溫度)。此時，利用緊急補水系統，從CST取水補充因沸騰而造成之池水損失，CST水源可連續供應30天，其中50％來自一號機之CST或ACST，另外50％來自二號機之CST。補充水之水質規範如下：

|  |  |
| --- | --- |
| * 最高溫度 | 95℉ |
| * 導電率(25℃) | ≦1微姆歐/cm |
| * 氯離子(Cl-) | ≦0.05ppm |
| * PH值(25℃) | 5.3～7.5 |