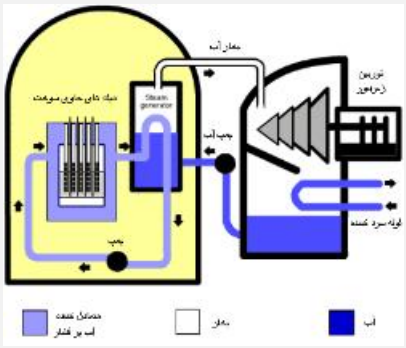

یکشنبه 01 اردیبهشت 1387 - 08:12

نیروگاه های هسته ای

در همه رآکتورها، قلب رآکتور که دمای بسیار زیادی دارد باید خنک شود. در یک نیروگاه هسته ای، سیستم خنک ساز به نوعی طراحی می‌شود که از گرمای آزاد شده به بهترین شکل ممکن استفاده شود. در اغلب این سیستمها از آب استفاده می‌شود. اما آب نوعی کند کننده هم محسوب می‌شود و از این رو نمی تواند در رآکتورهای سریع مورد استفاده قرار گیرد. در رآکتورهای سریع از سدیم مذاب یا نمک های سدیم استفاده می‌شود و دمای عملیاتی خنک ساز بالاتر است. در رآکتورهایی که برای تبدیل مورد طراحی شده اند، به راحتی گرمای آزاد شده را در محیط آزاد می‌کنند.

در یک نیروگاه هسته ای، رآکتور کند منبع آب را گرم می‌کند و آن را به بخار تبدیل می‌کند. بخار آب توربین بخار را به حرکت در می‌آورد ، توربین نیز ژنراتور را می‌چرخاند و به این ترتیب انرژی تولید می‌شود. این آب و بخار آن در تماس مستقیم با راکتور هسته ای است و از این رو در معرض تابش های شدید رادیواکتیو قرار می‌گیرند. برای پیشگیری از هر گونه خطر مرتبط با این آب رادیواکتیو، در برخی رآکتورها بخار تولید شده را به یک مبدل حرارتی ثانویه وارد می‌کنند و از آن به عنوان یک منبع گرمایی در چرخه دومی از آب و بخار استفاده می‌کنند. بدین ترتیب آب و بخار رادیواکتیو هیچ تماسی با توربین نخواهند داشت.

انواع رآکتورهای گرمایی

در در رآکتورهای گرمایی علاوه برکند کننده، سوخت هسته ای (ایزوتوپ قابل شکافت القایی)، مخزن بخار و لوله های منتقل کننده آن، دیواره های حفاظتی و تجهیزات کنترل و مشاهده سیستم راکتور نیز وجود دارند. البته بسته به این که این رآکتورها از کانالهای سوخت فشرده شده، مخزن بزرگ بخار یا خنک کننده گازی استفاده کنند، می‌توان آنها را به سردسته تقسیم کرد.

الف - کانالهای تحت فشار در رآکتورهای RBMK و CANDU استفاده می‌شوند و می‌توان آنها را در حال کارکردن رآکتور، سوخت رسانی کرد.

ب - مخزن بخار پرفشار داغ، رایج ترین نوع رآکتور است و در اغلب نیروگاههای هسته ای و رآکتورهای دریایی (کشتی، ناوهواپیمابر یا زیردریایی) از آن استفاده می‌شود. این مخزن می‌تواند به عنوان لایه حفاظتی نیز عمل کند.

ج - خنک سازی گازی: در این رآکتورها به جای آب، از یک سیال گازی شکل برای خنک کردن رآکتور استفاده می‌شود. این گاز در یک چرخه گرمایی با منبع حرارتی راکتور قرار می‌گیرد و معمولاً از هلیوم برای آن استفاده می‌شود، هر چند که نیتروژن و دی اکسید کربن نیز کاربرد دارند. در برخی رآکتورهای جدید، رآکتور به قدری گرما تولید می‌کند که گاز خنک کن می‌تواند مستقیما یک توربین گازی را بچرخاند، در حالی که در طراحی های قدیمی تر گاز خنک کن را به یک مبدل حرارتی می‌فرستادند تا در یک چرخه دیگر، آب را به بخار تبدیل کند و بخار داغ، یک توربین بخار را بگرداند.

بقیه اجزای نیروگاه هسته ای

غیر از رآکتور که منبع گرمایی است، تفاوت اندکی بین نیروگاه هسته ای و یک نیروگاه حرارتی تولید برق با سوخت فسیلی وجود دارد.

مخزن بخار تحت فشار معمولا درون یک ساختمان بتونی تعبیه می‌شود که این ساختمان به عنوان یک سد حفاظتی در برابر تابش رادیواکتیو عمل می‌کند. این ساختمان هم درون یک مخزن بزرگتر فولادی قرار می‌گیرد. هسته رآکتور و تجهیزات مرتبط با آن درون این مخزن فولادی قرار گرفته اند و کارکنان می‌توانند راکتور را تخلیه یا سوخت رسانی کنند. وظیفه این مخزن فولادی، جلوگیری از نشت هر گونه گاز یا مایع رادیواکتیو از درون سیال است.

در نهایت این مخزن فولادی هم به وسیله یک ساختمان بتونی خارجی محافظت می‌شود. این ساختمان به قدری محکم است که در برابر اصابت یک هواپیمای جت مسافربری (مشابه حادثه یازده سپتامبر) هم تخریب نمی شود. وجود این ساختمان حفاظتی دوم برای جلوگیری از انتشار مواد رادیواکتیو در اثر هرگونه نشت از حفاظ اول ضروری است. در حادثه انفجار چرنوبیل، فقط یک ساختمان حفاظتی وجود داشت و همان موجب شد موادراکتیو در سطح اروپا پخش شود.

راکتورهای هسته ای طبیعی

در طبیعت هم می‌توان نشانه هایی از رآکتور هسته ای پیدا کرد، البته به شرطی که تمام عوامل مورد نیاز به طور طبیعی در کنار هم قرار گرفته باشند. تنها نمونه شناخته شده یک رآکتور هسته ای طبیعی دو میلیارد سال پیش در منطقه اوکلو در کشور گابون (قاره آفریقا) فعالیتش را آغاز کرده است. البته دیگر چنین رآکتورهایی روی زمین شکل نمی گیرند، زیرا واپاشی رادیواکتیو این مواد (به خصوص U-235) در این زمان طولانی 4/5 میلیارد ساله (سن زمین)، فراوانی U-235 را در منابع طبیعی این رآکتورها بسیار کاهش داده است، به طوری که مقدار آن به پایین تر از حد مورد نیاز آغاز یک واکنش زنجیره ای رسیده است.

این رآکتورهای طبیعی زمانی شکل گرفتند که معادن غنی از اورانیوم به تدریج از آب زیرزمینی یا سطحی پر شدند. این آب به صورت کند کننده عمل کرد و واکنش های زنجیره ای شدیدی به وقوع پیوست. با افزایش دما، آب کند کننده بخار می‌شد و رآکتور خاموش شد. پس از مدتی، این بخارها به مایع تبدیل می‌شدند و دوباره رآکتور به راه می‌افتاد. این سیستم خودکار و بسته، یک رآکتور را کنترل می‌کرد و برای صدها هزار سال، این رآکتور را فعال نگاه می‌داشت.

مطالعه و بررسی این رآکتورهای هسته ای طبیعی بسیار ارزشمند است، زیرا می‌تواند به تحلیل چگونگی حرکت مواد رادیواکتیو در پوسته زمین کمک کند. اگر زمین شناسان بتوانند را از این حرکت‌ها را شناسایی کنند، می‌توانند راه حل های جدیدی برای دفن زباله های هسته ای پیدا کنند تا روزی خدای ناکرده، این ضایعات خطرناک به منابع آب سطح زمین نشت نکنند و فاجعه ای بشری به بار نیاورند.

انواع رآکتورهای گرمایی

الف - کند سازی با آب سبک:

a- رآکتور آب تحت فشار(Pressurized Water Reactor(PWR

b- رآکتور آب جوشان(Boiling Water Reactor(BWR

c- رآکتور D2G

ب- کند سازی با گرافیت:

a- ماگنوس Magnox

b- رآکتور پیشرفته با خنک کنندی گازی (Advanced Gas-Coaled Reactor (AGR

c- RBMK

d- PBMR

ج - کند کنندگی با آب سنگین:

a - SGHWR

b - CANDU

رآکتور آب تحت فشار، PWR

رآکتور PWR یکی از رایج ترین راکتورهای هسته ای است که از آب معمولی هم به عنوان کند ساز نوترونها و هم به عنوان خنک ساز استفاده می‌کند. در یک PWR، مدار خنک اولیه از آب تحت فشار استفاده می‌کند. آب تحت فشار، در دمایی بالاتر از آب معمولی به جوش می‌آید، از این دوچرخه خنک ساز اولیه را به گونه ای طراحی می‌کنند که آب با وجود آنکه دمایی بسیار بالا دارد، جوش نیاید و به بخار تبدیل نشود. این آب داغ و تحت فشار در یک مبدل حرارتی، گرما را به چرخه دوم منتقل میکند که یک نوع چرخه بخار است و از آب معمولی استفاده می‌کند. دراین چرخه آب جوش می‌آید و بخار داغ تشکیل می‌شود، بخار داغ یک توربین بخار را می‌چرخاند، توربین هم یک ژنراتور و در نهایت ژنراتور، انرژی الکتریکی تولید می‌کند.

PWR به دلیل دارابودن چرخه ثانویه با BWR تفاوت دارد. از گرمای تولیدی در PWR به عنوان سیستم گرم کننده درنواحی قطبی نیز استفاده شده است. این نوع رآکتور، رایج ترین نوع رآکتورهای هسته ای است و در حال حاضر، بیش از 230 عدد از آنها در نیروگاههای هسته ای تولید برق و صدها رآکتور دیگر برای تأمین انرژی تجهیزات دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

خنک کننده

همان طور که می‌دانید، برخورد نوترونها با سوخت هسته ای درون میله های سوخت، موجب شکافت هسته اتمها می‌شود و این فرآیند هم به نوبه خود، گرما و نوترونهای بیشتری آزاد می‌کند. اگر این حرارت آزاد شده منتقل نشود، ممکن است میله های سوخت ذوب شوند و ساختار کنترلی رآکتور از بین برود (و البته خطرهای مرگ آوری که به دنبال آن روی می‌دهند.) در PWR، میله های سوخت به صورت یک دسته در ساختاری، ترسیمی قرار گرفته اند و آب از کف رآکتور به بالا جریان پیدا می‌کند. آب از میان این میله های سوخت عبور می‌کند و به شدت گرم می‌شود، به طوری که به دمای 325 درجه سانتی گراد می‌رسد. درمبدل حرارتی، این آب داغ موجب داغ شدن آب در چرخه دوم می‌شود و بخاری با دمای 270 درجه سانتی گراد تولید می‌کند تا توربین را بچرخاند.

کند کننده

نوترونهای حاصل از یک شکافت هسته ای بیش از آن حدی گرمند که بتوانند یک واکنش شکافت هسته ای را آغاز کنند. انرژی آنها را باید کاهش داد تا با محیط اطراف خود به تعادل گرمایی برسند. محیط اطراف نوترونها (قلب رآکتور) دمایی در حدود 450 درجه سانتی گراد دارد.

در یک PWR، نوترونها در پی برخورد با مولکولهای آب خنک ساز، انرژی جنبشی خود را از دست می‌دهند؛ به طوری که پس از 8 تا 10 برخورد (البته به طور متوسط) با محیط هم دما می‌شوند. در این حالت، احتمال جذب نوترونها از سوی هسته U-235 بسیار زیاد است ودر صورت جذب، بالافاصله هسته U-236 جدید دچار شکافت می‌شود.

مکانیسم حساسی که هر رآکتور هسته ای را کنترل می‌کند، سرعت آزاد سازی نوترونها در طول یک فرآیند شکافت است به طور متوسط از هر شکافت، دونوترون و مقدار زیادی انرژی آزاد می‌شود. نوترونهای آزاد شده اگر با هسته U-235 دیگری برخورد کنند، شکافت دیگری را سبب می‌شوند و در نهایت یک واکنش زنجیره ای روی می‌دهد. اگر تمام این نوترونها در یک لحظه آزاد شوند، تعدادشان به قدری زیاد می‌شود که باعث ذوب شدن راکتور خواهد شد. (تعداد ذرات پر انرژی، دمای یک سیستم را تعیین می‌کند. معادله بوتترمن، این ارتباط را توصیف می‌کند.) خوشبختانه برخی از این نوترونها پس از یک بازه زمانی نه چندان کوتاه (حدود یک دقیقه) تولید می‌شوند و سبب می‌شوند دیگر عوامل کنترل کننده از این تاخیر زمانی استفاده کرده، اثر خود را داشته باشند.

یکی از مزیت های استفاده از آب در PWR، این است که اثر کند سازی آب با افزایش دما کاهش می‌یابد. در حالت عادی، آب در فشار 150 برابر فشار یک اتمسفر قرار دارد (حدود 15 مگا پاسکال) و در قلب رآکتور به دمای 325 درجه سانتی گراد می‌رسد. درست است که آب با فشار پانزده مگا پاکسال در این دما جوش نمی آید، ولی به شدت از خاصیت کند کنندگی اش کاسته می‌شود، بنابراین آهنگ واکنش شکافت هسته ای کاهش می‌یابد، حرارت کمتری تولید می‌شود و دما پایین می‌آید. دما که کاهش یابد، توان رآکتور افزایش می‌یابد و دما که افزایش یابد توان راکتور کاهش می‌یابد؛ پس خود سیستم PWR دارای یک سیستم خود تعادلی در رآکتور است و تضمین می‌کند توان رآکتور در کمترین میزان مورد نیاز برای تأمین گرمای سیستم بخار ثانویه است.

در اغلب رآکتورهای PWR، توان رآکتور را در دوره فعالیت معمولی با تغییرات غلظت بورون (در شکل اسید بوریک) در چرخه خنک کننده اولیه کنترل می‌کنند سرعت جریان خنک کننده اول در رآکتورهای PWR معمولی ثابت است. بورون یک جذب کننده قوی نوترون است و با افزایش یا کاهش غلظت آن، می‌توان شدت فعالیت راکتور را کاهش یا افزایش داد. برای این کار، یک سیستم کنترلی پیچیده شامل پمپ های فشار بالا که آب را در فشار 15 مگا پاسکال از چرخه خارج می‌کند، تجهیزات تغییر غلظت اسید بوریک و تزریق مجدد آب به چرخه خنک ساز مورد نیاز است.

یکی از اشکالات راکتورهای شکافت، این است که حتی پس از توقف واکنش شکافت، هنوز هم واپاشی های رادیواکتیوی انجام می‌شود و حرارت زیادی آزاد می‌شود که می‌تواند راکتور را ذوب کند. البته سیستم های حفاظتی و پشتیبانی متعددی برای جلوگیری از این واقعه وجود دارند، با این حال ممکن است در اثر پیچیدگی های این سیستم، برهمکنش های پیش بینی نشده یا خطاهای عملیاتی مرگ آفرینی در شرایط اضطراری روی دهند. در نهایت، هر رآکتور با یک حفاظ ساختمانی بتونی احاطه شده است که آخرین سد در برابر تشعشعات رادیواکتیو است.

راکتور آب جوشان، BWR

در رآکتور آب جوشان، از آب سبک استفاده می‌شود. آب سبک، آبی است که در آن فقط هیدروژن معمولی وجود دارد.) BWR اختلاف زیادی با رآکتور آب تحت فشار ندارد، غیر از اینکه در BWR فقط یک چرخه خنک کننده وجود دارد و آب مستقیما در قلب راکتور به جوش می‌آید. فشار آب در BWR کمتر از PWR است، به طوری که در بیشترین مقدار به 75 برابر فشار جو می‌رسد (7/5 مگا پاسکال) و بدین ترتیب آب در دمای 285 درجه سانتی گراد به جوش می‌آید.

راکتور BWR به شکلی طراحی شده که بین 12 تا 15 درصد آب درون قلب رآکتور به شکل بخار در قسمت بالای آن قرار می‌گیرد. بدین ترتیب عملکرد بخش بالایی و پایینی هسته رآکتور با هم تفاوت دارند. در بخش بالایی قلب رآکتور، کند سازی کمتری صورت می‌گیرد و در نتیجه بخش بالایی کمتر است.

در حالت کلی دو مکانیسم برای کنترل BWR وجود دارد: استفاده از میله های کنترل و تغییر جریان آب درون راکتور.

الف - بالا بردن یا پایین آوردن میله های کنترل، روش معمولی کنترل توان رآکتور در حالت راه اندازی رآکتور تا رسیدن به 70 درصد حداکثر توان است. میله های کنترل حاوی مواد جذب کننده نوترون هستند؛ در نتیجه پایین آوردن آنها موجب افزایش جذب نوترون در میله ها، کاهش جذب نوترون در سوخت و درنهایت کاهش آهنگ شکافت هسته ای و پایین آمدن توان رآکتور می‌شود. بالا بردن میله های سوخت دقیقاً نتیجه معکوس می‌دهد.

ب - تغییرات جریان آب درون رآکتور، زمانی برای کنترل رآکتور مورد استفاده قرار می‌گیرد که راکتور بین 70 تا صد درصد توان خود کار می‌کند. اگر جریان آب درون رآکتور افزایش یابد، حباب های بخار در حال جوش سریع تر از قلب راکتور خارج می‌شوند و آب درون قلب رآکتور بیشتر می‌شود. افزایش مقدار آب به معنی افزایش کندسازی نوترون و جذب بیشتر نوترونها از سوی سوخت است و این یعنی افزایش توان راکتور. با کاهش جریان آب درون رآکتور، حباب‌ها بیشتر در رآکتور باقی می‌مانند، سطح آب کاهش می‌یابد و به دنبال آن کندسازی نوترونها و جذب نوترون هم کاهش می‌یابد و در نهایت توان رآکتور کاهش می‌یابد.

بخار تولید شده در قلب رآکتور از شیرهای جدا کننده بخار و صفحات خشک کن (برای جذب هر گونه قطرات آب داغ) عبور می‌کند و مستقیماً به سمت توربین های بخار که بخشی از مدار رآکتور محسوب می‌شوند، می‌رود. آب اطراف رآکتور همواره در معرض تابش و آلودگی رادیواکتیو است و از آنجا که توربین هم در تماس مستقیم با این آب است، باید پوشش حفاظتی داشته باشد. اغلب آلودگی های درون آب عمر کوتاهی دارند (مانند N16 که بخش اعظم آلودگی های آب را تشکیل می‌دهد و نیمه عمرش تنها 7 ثانیه است)، بنابراین مدت کوتاهی پس از خاموش شدن رآکتور می‌توان به قسمت توربین وارد شد.

در رآکتور BWR، افزایش نسبت بخار آب به آب مایع درون رآکتور موجب کاهش گرمای خروجی می‌شود. با این حال، یک افزایش ناگهانی در فشار بخار، سبب بروز یک کاهش ناگهانی در نسبت بخار به آب مایع درون رآکتور می‌شود که خود، سبب افزایش توان خروجی می‌شود. این شرایط و دیگر حالت های خطرساز، موجب شده است از سیستم کنترلی اسید بوریک (بورون) نیز استفاده شود، بدین شکل که در سیستم پشتیبان خاموش کننده اضطراری، محلول اسید بوریک با غلظت بالا به چرخه خنک کننده تزریق می‌شود. خوبی این سیستم این است که اسید اوریک، یک خورنده قوی است و معمولا در PWR سبب می‌شود تلفات ناشی از خوردگی قابل توجه باشد. در بدترین شرایط اضطراری که تمام سیستم های امنیتی از کار افتاد، هر رآکتور به وسیله یک ساختمان حفاظتی از محیط اطراف جدا شده است. در یک رآکتور BWR جدی، حدود 800 دسته واحد سوخت قرار می‌گیرد و در هر دسته بین 74 تا 100 میله سوخت قرار می‌گیرد. این چنین حدود 140 تن اورانیوم در قلب رآکتور ذخیره می‌شود.

• راکتور D2G

راکتور هسته ای D2G را می‌توان در تمام ناوهای دریایی ایالات متحده می‌توان پیدا کرد. D2G مخفف عبارت زیراست:

راکتور ناو جنگی D=Destroyer-sized reactor

نس دوم Second Geneation=2

ساخت جنرال الکتریک G= General - Electric built

بدین ترتیب، D2G را می‌توان مخفف این عبارت دانست: رآکتور هسته ای نسل دوم ویژه ناوهای جنگی ساخت جنرال الکتریک. این رآکتور برای تولید حداکثر 150 مگا وات انرژی الکتریکی و عمر مفید 15 سال مصرف معمولی طراحی شده است.

در این رآکتور، برای مخزن بخار دو رآکتور وجود دارد و طوری طراحی شده که بتوان هر دو اتاق توربین را با یک رآکتور به راه انداخت. اگر هر دو رآکتور فعال باشند، ناو به سرعت 32 گره می‌رسد. اگر یک رآکتور فعال باشد و توربین‌ها متصل به هم باشند، سرعت ناو به 25 تا 27 گره خواهد رسید و اگر فقط یک رآکتور فعال باشد ولی توربین‌ها جدا باشند، سرعت فقط 15 گره خواهد بود

ذوالفقار دانش