

شیمی آب نیروگاههای اتمی در زمان راه اندازی

ترجمه و تدوین

علی مقیمزاده محبی

حسن تشکری

شهرام دهقانی

متالون

سرشناسه : کروتیکوف، پاول گئورگی یویچ

Krutikov, P. G. (Pavel Georgievich)

عنوان و نام پدیدآور : شیمی آب نیروگاه‌های اتمی در زمان راه‌اندازی / پاول گئورگی یویچ کروتیکوف، ویاسلاو میخائیلوویچ مدوف ؛ ترجمه علی مقیم‌زاده محبی، حسن تشکری، شهرام دهقانی .

مشخصات نشر : تهران : متالون، ۱۳۹۱.

مشخصات ظاهری : ۱۴۸ص: جدول.

شابک : 978-600-6374-03-1 : ۴۵۰۰۰ریال

یادداشت : عنوان اصلی: Vodno-khimicheskie rezhimy v period puskа AES, 1981

یادداشت : واژه‌نامه .

موضوع : نیروگاه‌های اتمی

موضوع : آب - شیمی

شناسه افزوده : سدوف، ویاسلاو میخائیلوویچ

Sedov, Viacheslav Mikhailovich : شناسه افزوده

شناسه افزوده : مقیم‌زاده محبی، علی، ۱۳۴۸ - مترجم

شناسه افزوده : تشکری، حسن، ۱۳۵۰ - مترجم

شناسه افزوده : دهقانی، شهرام، ۱۳۶۷ - مترجم

رده بندی کنگره : ۱۳۹۰ ۵۴۱۰۷۸

رده بندی دیویی : ۶۲۱/۴۸۳

شماره کتابشناسی ملی : ۲۶۵۱۳۰۸

متالون

- | | |
|--|---|
| • نام کتاب | • شیمی آب نیروگاه‌های اتمی در زمان راه‌اندازی |
| • ترجمه و تدوین | • علی مقیم‌زاده محبی - حسن تشکری - شهرام دهقانی |
| • نوبت چاپ | • اول |
| • سال چاپ | • ۱۳۹۱ |
| • شمارگان | • ۶۰۰ نسخه |
| • قیمت | • ۴۵۰۰۰ ریال |
| • چاپخانه | • اصلیل |
| • شابک | • 978-600-6374-03-1 ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۷۴-۰۳-۱ |
| • آدرس مرکز پخش، تهران - خیابان حافظ - روبروی خیابان سمیه - دانشگاه صنعتی امیرکبیر | |
| تلفن کتابفروشی، ۶۶۴۶۵۳۹۲ (دفتر) | ۸۸۸۹۵۹۶۹ |
| فاکس ۶۶۹۵۰۹۸۲ | |

پیشگفتار

اصطلاحات

مقدمه

فصل اول : مدارها و تجهیزات اساسی نیروگاه اتمی

- ۱-۱ نیروگاههای اتمی با راکتور RBMK ۱
- ۲-۱ نیروگاههای اتمی با راکتور VVER ۱۳
- ۳-۱ تقسیم بندی سیستم ها و مدارهای نیروگاه اتمی به گروههای فنی ۱۴

فصل دوم : سازماندهی عملیات راه اندازی و تنظیم تجهیزات

- ۱-۲ الزامات کلی عملیات راه اندازی و تنظیم تجهیزات نیروگاه اتمی ۱۹
- ۲-۲ تدابیر فنی در مرحله راه اندازی نیروگاه اتمی با راکتور RBMK ۲۱
- ۳-۲ تدابیر فنی در مرحله راه اندازی نیروگاه اتمی با راکتور VVER ۲۹
- ۴-۲ اصول اساسی سازماندهی عملیات تنظیم راه اندازی در نیروگاه اتمی ۳۲
- ۵-۲ مشخصات فنی و مراحل مختلف پیش راه اندازی ۳۴

فصل سوم : مشخصات مواد ساختاری استفاده شده در نیروگاه اتمی

- ۱-۳ مواد ساختاری سیستم های اصلی نیروگاه اتمی ۴۲
- ۲-۳ سرباره ها روی سطوح مواد ساختاری ۴۶
- ۳-۳ تغییرات وضعیت شیمیایی - فیزیکی سطوح مواد ساختاری در شرایط مختلف ۵۲
- ۴-۳ وضعیت سطوح فلزی سیستم ها و تجهیزات نیروگاه اتمی با راکتور RBMK- ۶۰
- 1000 بعد از مونتاژ

فصل چهارم : فرآیندهای خوردگی در مرحله راه اندازی نیروگاه اتمی

- ۱-۴ خوردگی اتمسفری (در هوا) سطوح فلزی سیستم ها و تجهیزات ۶۶
- ۲-۴ فن آوری شیمیایی در دوره عملیات تنظیم - راه اندازی ۶۷

فصل پنجم : عملیات راه اندازی و رژیم های شیمیایی نیروگاه اتمی

- ۷۳ ۱-۵ عملیات راه اندازی و رژیم های شیمیایی نیروگاه اتمی با راکتور RBMK-1000
- ۸۶ ۲-۵ رژیم های شیمیایی در زمان عملیات راه اندازی-تنظیم در نیروگاه اتمی با راکتور VVER

فصل ششم : حذف آلودگی های سطحی از سیستم ها و مدارهای نیروگاه اتمی

- ۱۰۰ ۱-۶ واکنش متقابل محلول های شستشو دهنده با سطوح فلزی و آلودگی های روی آنها
- ۱۰۳ ۲-۶ حل شدن اکسیدها و آهن فلزی توسط اسیدهای معدنی
- ۱۱۳ ۳-۶ حل شدن اکسیدها و فلز توسط اسیدهای آلی و کمپلکس ها

فصل هفتم : غیرفعال سازی سطوح فلزی

- ۱۲۲ ۱-۷ خواص فیزیکی- شیمیایی لایه های غیرفعال حفاظت کننده
- ۱۲۸ ۲-۷ مشخصات اکسیدهای تشکیل دهنده لایه های محافظ
- ۱۳۰ ۳-۷ ایجاد لایه های اکسیدی محافظ

منابع

سیاسگزاری

سیاس بیکران خدمت یکتا که به ما این فرصت را داد تا بتوانیم با توجه به تجربیات عملی کسب شده در نیروگاههای اتمی بخشی از خلاء مربوط به نبود مراجع کاربردی و عملی در زمینه نیروگاههای اتمی را در حد توان پر کرده و کتابی منحصر بفرد که حاوی اطلاعات واقعی و علمی - عملی می باشد را به رشته نگارش درآوریم.

در اینجا وظیفه خود می دانیم که از کلیه همکاران محترم بالاخص از خانها نسرین سبزیان و زهرا نوری که برای آماده نمودن این کتاب کمال همکاری را نمودند سپاسگزاری نماییم .
بسیار خوشنود خواهیم بود که همکاران و اساتید گرامی از نظرات اصلاحی خود ما را مطلع نموده تا در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گیرد
این کتاب تقدیم می گردد به دانشجویان و دانش پژوهان و همه افرادی که علاقمند به علوم هسته ای می باشند به امید آنکه این کوشش سرآغاز و مقدمه ای برای ارائه خدمات آتی باشد.

نویسندگان این کتاب نظر خوانندگان گرامی را به راه‌حل‌ها و روش‌های حل مشکلات احتمالی که در یک نیروگاه اتمی ممکن است بروز نماید معطوف می‌کند و روشهای دقیق حل آنها را واگذار می‌کنیم به کسانی که در امر ساخت و راه‌اندازی نیروگاههای اتمی مشغول فعالیت می‌باشند.

www.ketab.ir

اصطلاحات

- **نیروگاه اتمی:** به تأسیساتی که شامل راکتور هسته‌ای و تجهیزات وابسته، برای تبدیل انرژی هسته‌ای به انرژی الکتریکی می‌باشد گفته می‌شود.
- **دوره راه‌اندازی:** مدت زمانی است که طی آن سیستم‌ها مونتاژ، نصب و آماده شده و در نهایت راه‌اندازی می‌شوند.
- **دوره توقف نیروگاه:** مدت زمانی است که طی آن سیستم‌ها و تجهیزات یا تأسیسات تولید برق هسته‌ای به طور خودکار قطع می‌باشند.
- **راه‌اندازی فیزیکی نیروگاه اتمی:** بارگذاری مجتمع‌های سوخت در داخل قلب راکتور، دستیابی به وضعیت بحرانی راکتور و انجام آزمایشات مورد نیاز در سطح قدرتی که گرم شدن خنک‌کننده توسط شکافت هسته‌ای ناچیز باشد.
- **راه‌اندازی قدرت نیروگاه اتمی:** افزایش سطح قدرت راه‌اندازی فیزیکی تا سطح قدرتی که برای راه‌اندازی توربین کفایت می‌کند و در آن سطح آزمایش‌های لازم در افزایش قدرت راکتور به صورت پلکانی انجام می‌گیرد.
- **شستشوی شیمیایی:** شستشو و حذف محمولات خوردگی از سطوح تجهیزات توسط محلول شستشو.
- **شستشوی آبی:** شستشو و برداشت آلودگی‌های فلزی از سطح داخلی تجهیزات توسط آب.
- **محلول شستشو:** محلولی با عوامل شیمیایی (مانند عامل‌های اسیدی یا بازی) که توسط آن عمل شستشوی شیمیایی انجام می‌گیرد.
- **آمادگی پیش از راه‌اندازی:** مجموع عملیات شیمیایی که در راستای آماده نمودن سطوح تجهیزات برای راه‌اندازی بکار می‌رود.
- **شاخص‌های استاندارد مربوط به کیفیت آب:** نشانگرهای کیفیت آب که مقادیر آنها طی فرآیند بهره‌برداری باید در محدوده‌ی تعیین شده و مجاز نگه داشته شود.
- **شاخص‌های کنترلی:** نشانگرهای کیفیت آب که مقدار آنها محدود به بازه تعیین شده‌ای نمی‌شوند.

- دوره کنترل شاخص‌های کیفیت آب: مدت زمان بین دو اندازه‌گیری متوالی شاخص‌های کیفیت آب است که در آن فاصله زمانی، تغییرات مقدار کیفیت اندازه‌گیری شده به‌گونه‌ای نباشد که سبب پیامدی نامطلوب همچون تغییر میزان مقاومت در برابر خوردگی فلزات ساختاری و یا تغییر مشخصات مربوط به حفاظت پرتویی و دیگر مشخصات لازم جهت بهره‌برداری شود.
- محلول نگهداری‌کننده: محلولی است که دارای عوامل شیمیایی لازم جهت نگهداری از تجهیزات در زمان خام‌وشی است.
- ضوابط و استانداردهای کیفیت آب: الزاماتی است که با هدف تأمین مقاومت در برابر خوردگی فلزات ساختاری و یا حفاظت پرتویی و دیگر مشخصات لازم جهت بهره‌برداری تدوین شده است. در استانداردهای مربوط به کیفیت، شاخص‌های کنترلی و شاخص‌های استاندارد ذکر می‌شود.
- خوردگی فلزات: تخریب فلزات به علت تأثیر متقابل شیمیایی یا الکتروشیمیایی آنها با محیط‌های خورنده است.
- محیط خورنده: محیطی است که در آن خوردگی فلزات رخ می‌دهد.
- خوردگی سراسری: خوردگی که تمام سطح فلز را در بر می‌گیرد.
- خوردگی یکسان: شکلی از خوردگی سراسری که تمام سطح فلز با سرعت یکسان خورده می‌شود.
- خوردگی موضعی: خوردگی است که قسمت‌های مجزایی از سطح فلز آسیب می‌بیند.
- خوردگی نقطه‌ای: نوعی خوردگی موضعی است که آسیب‌ها به شکل نقطه‌های مجزا می‌باشند.
- غیرفعال‌سازی: تشکیل لایه‌های فازی یا لایه محافظ روی سطح فلز و در نتیجه توقف واکنش یونیزه شدن فلز (آند) که سبب کاهش سرعت خوردگی به میزان قابل توجهی می‌شود.
- شرایط غیرفعال‌سازی: مجموع کلیه شرایطی که برای ایجاد وضعیت غیرفعال در فلز لازم است.

• ثبات وضعیت غیرفعال: قابلیت فلز در حفظ وضعیت غیرفعال هنگامی که شرایط محیطی تغییر کند.

• مواد غیرفعال: موادی که قابلیت بردن فلز به وضعیت غیرفعال را دارند.

• فعال سازی: تغییر وضعیت فلز از حالت غیرفعال به حالت فعال است.

• مواد فعال کننده: موادی که قابلیت تغییر وضعیت فلز از وضعیت غیرفعال به وضعیت فعال را دارند و یا اینکه غیرفعال سازی را مشکل می کنند.

• مواد بازدارنده از خوردگی: موادی که با وارد کردن مقادیر ناچیزی از آنها به محیط خورنده، بطور قابل ملاحظه ای سرعت خوردگی فلز را کاهش می دهند.

• لایه محافظ: لایه ای که در شرایط طبیعی روی سطح فلز و هنگام تأثیر متقابل محیط های خورنده با آن تشکیل می شود و یا بطور مصنوعی از طریق عملیات فرآوری شیمیایی یا الکتروشیمیایی ایجاد شده و فرآیند خوردگی را کند می نماید.

• لایه اکسیدی: لایه ای است که علناً از اکسیدهای فلزی تشکیل می شود.

• نگهداری کردن: محافظت از فلز در برابر خوردگی بنا به ضرورت های فنی، در فرآیند تولید، حمل و نقل و همچنین نگهداری در زمان خاموشی را شامل می شود.

• خارج کردن از وضعیت نگهداری: برداشتن و حذف مواد نگهداری کننده و مواد بسته بندی را گویند.

مقدمه

امروزه میزان مصرف انرژی بویژه انرژی الکتریکی بعنوان یکی از معیارهای ارزیابی سطح رشد و توسعه‌یافتگی جوامع صنعتی و همچنین شاخص میزان رشد تولید در آینده آن جوامع نیز تلقی می‌گردد. اصلی‌ترین سمت‌وسوی رشد انرژی الکتریکی در قرن بیستم و دهه اول قرن بیست‌ویکم ساخت گسترده نیروگاه‌های اتمی بوده و عمده راکتورها طی ۱۰ تا ۱۵ سال آینده از نوع راکتورهای VVER و RBMK خواهند بود که از آب به عنوان خنک‌کننده استفاده می‌کنند.

ساخت نیروگاه‌های اتمی بصورت سری ممکن داشتن طرح و اجرای پروژه‌های مشابه به تعداد انبوه بوده که البته تغییر تشکیلات سازنده و همچنین تکنولوژی ساخت نیز اجتناب‌ناپذیر است.

تکرار همه فرآیندها به میزان قابل‌ملاحظه‌ای هزینه نصب و قیمت تمام شده و همچنین مدت ساخت را کاهش می‌دهد. شرایط سری‌سازی اجازه تغییرات زیاد در روشها، تکنولوژی مونتاژ، عملیات راه‌اندازی و تنظیم تجهیزات را نمی‌دهد. با این وجود در حال حاضر طرح و برنامه پروژه‌ها، تکنولوژی مونتاژ و عملیات راه‌اندازی نه تنها به دلیل وجود نیروگاه‌های اتمی مختلف دچار تغییر شده‌اند بلکه گاهی اوقات در هر واحد نیروگاهی، انهم به دلیل نداشتن روشهای اجرایی کافی و جامع تغییراتی حاصل شده است. بعنوان مثال در جدول زیر می‌توان مشاهده کرد که ترکیب محلولها در زمان راه‌اندازی نیروگاه اتمی با راکتور RBMK-1000 (جدول ب ۱) در هفت واحد راه‌اندازی شده که در زمان راه‌اندازی رژیم‌های فنی متفاوتی داشته‌اند، مختلف می‌باشد. عملیات راه‌اندازی در این واحدها تنها پرکردن لوله‌ها و مسیرها توسط آب نبوده بلکه شامل یک مجموعه پیچیده‌ای از عملیات فنی می‌باشد.

جدول الف : ترکیب محلولها برای شستشوی مسیر کندانسور تا مولد بخار در زمان راه اندازی نیروگاه اتمی با راکتور RBMK-1000

نام نیروگاه اتمی	محلول شستشوی کننده	محلول غیر فعال کننده	سال راه اندازی
لنینگراد	محلول منو نیترات آمونیم	محلول نیتريد سدیم	۱۹۷۵
واحد یک	محلول منو نیترات آمونیم	محلول نیتريد سدیم	۱۹۷۵
واحد دو	آب	آب	۱۹۷۹
واحد سه			
کورسکایا	محلول تریلون B + اسید سیتريک	محلول آمونیاک	۱۹۷۶
واحد یک	محلول آب اکسیژنه	آب	۱۹۷۸
واحد دو			
چرنوبیل	محلول تریلون B + اسید سیتريک	محلول نیتريد سدیم	۱۹۷۷
واحد یک	محلول تریلون B + اسید سیتريک	محلول نیتريد سدیم	۱۹۷۷
واحد دو			

تغییر ساختارها و اتخاذ تصمیمات جدید

قبل از راه اندازی و هنگام راه اندازی ارتقاء ساختار تشکیلاتی و تهیه روشهای اجرایی منظم و یکپارچه برای تأسیسات هسته ای ضروری می باشد. تنها با اتخاذ تصمیمهای صحیح و کارآمد در زمینه های شیمیایی، فیزیکی - شیمیایی و فن آوری تجهیزات اصلی و سیستم های کمکی نیروگاه است که تأمین عملکرد ایمن و بدون وقفه نیروگاه اتمی امکان پذیر می باشد. با وجود تجربه با ارزش چندین ساله در نیروگاههای حرارتی و راه اندازی و بهره برداری موفقیت آمیز نیروگاههای اتمی (نووارونژ، بلایارسکی، لنینگراد، کورس و غیره) هنوز هیچ

روش مناسبی در انتخاب اصول و مبانی رژیم‌های شیمیایی- فنی بهینه اتخاذ نشده است. الزامات خنک‌کننده در یک نیروگاه اتمی به مراتب بیشتر از الزامات خنک‌کننده در یک نیروگاه حرارتی با شرایط مساوی می‌باشد. این الزامات اضافی عبارتند از: کاهش آلودگی ناشی از مواد رادیواکتیو در خنک‌کننده و تجهیزات، ممنوعیت پخش خنک‌کننده‌ی رادیواکتیو در محیط زیست، هزینه بالا، سختی و گاهی اوقات عدم امکان تعمیر تجهیزات آسیب دیده.

فرآیندهای شیمیایی نقش مهمی را در زمان ساخت و مونتاژ نیروگاه اتمی ایفا می‌کنند. در زمان آماده‌سازی برای راه‌اندازی از یک طرف سطوح کاری تمیز با کیفیت بالا نیاز است که برای این منظور باید کلیه آلودگی‌ها برداشته شوند (زیرا می‌بایست همه سطوح داخلی حجم‌ها تمیز باشند) و از طرف دیگر هنگام بهره‌برداری نیاز است که سرعت خوردگی سیستم‌های مختلف تا حد امکان کاهش یابد.

در نواحی که سیال ساکن است آلودگی‌ها می‌توانند رسوب کنند و موجب عملکرد نامناسب پمپ‌ها، شیرها و هواکش‌ها شوند. علاوه بر این به دلیل عبور خنک‌کننده از قلب راکتور در حال کار، آلودگی‌های همراه با خنک‌کننده اکتیو شده و سبب بدتر شدن وضعیت تشعشع در نیروگاه می‌گردند.

بیشترین احتمال ایجاد و فراهم شدن شرایط خوردگی در فاصله زمانی فعالیت‌های قبل از راه‌اندازی و هنگام راه‌اندازی است. خوردگی بوجود آمده در برخی از نواحی در این دوره زمانی، هنگام بهره‌برداری می‌تواند گسترش یابند. مرطوب شدن سطوح فلزات با آبی که دارای ترکیب متغیری از اکسیژن و دی‌اکسیدکربن است و تأثیر جریان‌های سرگردان از دستگاههای جوشکاری سبب تشدید فرآیندهای خوردگی می‌شود. ممکن است در کارخانه سطح فلزات با مواد زائد پوشیده شده باشد و یا آن سطح تحت تأثیر مواد شیمیایی فعال قرار گیرد بنابراین در این دوره زمانی احتمال وجود آسیب‌های ناشی از خوردگی در محل خراشیدگی‌های سطوح وجود داشته و یا نابجایی‌های مرزی شدید باشد لذا نیاز است که پیش از راه‌اندازی سیستم‌ها و مسیرها، سطوح فلزات به صورت ویژه آماده شوند.

در این کتاب فرآیندهای شیمیایی- فنی آماده‌سازی سیستم‌ها و میرها برای راه‌اندازی تأسیسات هسته‌ای و همچنین وظایف و شرایط کاری هر سیستم و خواص سطوح فلزات پس از ساخت در کارخانه در کلیه مراحل مونتاژ، راه‌اندازی و هنگام بهره‌برداری بررسی می‌شود.