

حفاظت کاتدی کندانسور نیروگاه بخار تبریز و نتایج به دست آمده از آن

شهرزاد خروچی شبستری، فرید دلجانی، فاطمه اختیاری کشکی
شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان شرقی
ایران

واژه‌های کلیدی: حفاظت کاتدی، کندانسور، آند فدا شونده

چکیده

جهت محافظت و به حداقل رساندن سرعت خوردگی واترباکسها و تیوب شیت‌های کندانسور واحد ۲ نیروگاه حرارتی تبریز که از جنس کربن استیل می‌باشد، از آند فدا شونده بر پایه روی استفاده شده است. بعد از گذشت هفت ماه از نصب آندها، مشاهده شد که سطح تمامی آندها توسط لایه نسبتاً ضخیمی از رسوبات سفید رنگ پوشیده شده است. برای روشن شدن اثر این رسوبات در کارایی آندها و بررسی سرعت کاهش وزن آندها در مقابل مساحت محافظت شده، تست‌های کوپن گذاری در شرایط مختلف حفاظت کاتدی، آنالیز XRF رسوبات و آنالیز شیمیایی آند انجام گرفت که نتایج نشان داد که این رسوبات سبب کاهش راندمان حفاظتی آندها می‌شوند.

مقدمه

حفاظت کاتدی مبحثی است که از سالها پیش در کشور انگلستان و بسیاری دیگر از کشورهای اروپایی و آمریکا مطرح بوده و اجرا گردیده است [1] طوریکه هم اکنون مطالب

مربوط به آن را تحت استانداردهای تدوین شده و جامع میتوان یافت (BS 7361, NACE RP 0193, 0285,0169) اما در کشور ما و علی الخصوص در توانیر چند سالی بیشتر نیست که به این مبحث پرداخته میشود و متأسفانه در بیشتر نیروگاههای کشور از کارایی پایینی برخوردار است. حفاظت کاتدی کلا به دو روش تزریق جریان و روش آند فدا شونده اعمال میشود [2]. در روش اول از ترانس و یکسو ساز جهت تامین جریان لازم برای حفاظت استفاده میشود و در روش دوم از فلزی که مقاومت پایینی در مقابل خوردگی الکتروشیمیایی دارد به عنوان قربانی یا فدا شونده برای سازه اصلی استفاده میشود. در کندانسور واحد ۲ نیروگاه حرارتی تبریز به دلیل سادگی طراحی و متصل بودن سازه از نظر الکتریکی به سازه‌های مجاور، از حفاظت نوع آند فدا شونده با آند روی استفاده شده است. دیواره کندانسور در طول مدت کارکرد نیروگاه (حدوداً ۲۵ سال) دچار خوردگی شدیدی گردیده بود که بیشتر این خوردگی مربوط به زمانی است که از آب چاه‌های میان با ناخالصی زیاد برای آب تغذیه و خنک کاری استفاده میشد این آب که دارای هدایت الکتریکی

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

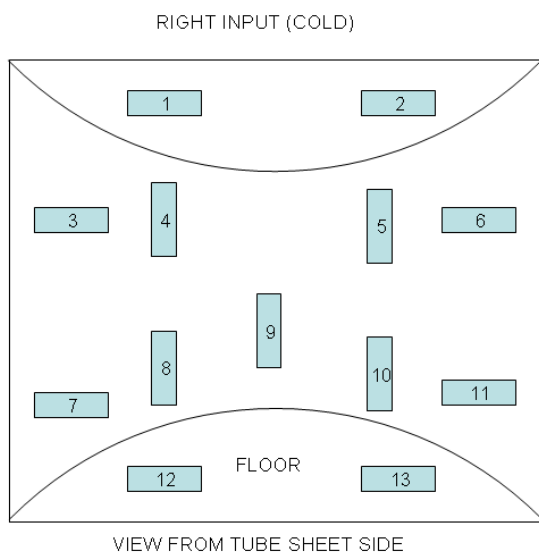
محاسبه میزان آند مورد نیاز بر حسب ۱/۵ سال به صورت زیر انجام پذیرفت: [2]

$$W_t = \frac{CR \times L \times I}{U \times E} \quad (1)$$

که در آن CR نرخ مصرف آند روی برابر ۱۱/۵ کیلوگرم بر آمپر سال، L مدت زمان مورد نظر برابر ۱/۵ سال، I میزان جریان مورد نیاز برای حفاظت که متعاقبا محاسبه خواهد شد، U ضریب مصرف برابر ۰/۸۵ و E بازده آند روی برابر ۰/۸ میباشد. مقدار جریان کل حفاظت برابر جریان مورد نیاز برای حفاظت واحد سطح ضرب در کل مساحت خواهد بود:

$$I = Id \times S \quad (2)$$

با در نظر گرفتن Id برابر ۲۵۰ میلی آمپر بر متر مربع و S برابر ۱۷۶ متر مربع (دیواره بعلاوه تیوب شیتها) مقدار کل جریان حفاظت برابر ۴۴ آمپر بوده و وزن آند مورد نیاز طبق فرمول شماره (۲) برابر ۱۱۱۶ کیلوگرم به دست آمد. با تقسیم این مقدار آند بر وزن هر آند که ۲۲/۵ کیلوگرم میباشد تعداد آنها برابر ۴۹/۶ محاسبه میشود. به دلیل متقارن بودن چینش، نزدیکترین تعداد به مضرب ۴ که عدد ۵۲ میباشد انتخاب گردید و نهایتا ۱۳ آند با وزن هر کدام ۲۲/۵ کیلوگرم و چینشی مطابق با شکل (۲) در هر واتر باکس نصب گردید. [3]



شکل (۲)

بالایی بود، باعث تشدید خوردگی الکتروشیمیایی میگردد. با تغییر محل برداشت آب تغذیه نیروگاه به زرنه رود این خوردگی به مراتب کمتر شده است. به پیشنهاد دفتر پشتیبانی فنی تولید شرکت توانیر مقرر گردید که جهت توقف کامل خوردگی در کندانسورها، واتر باکس آنها تحت حفاظت کاتدی قرار گیرد.

تعریف پروژه

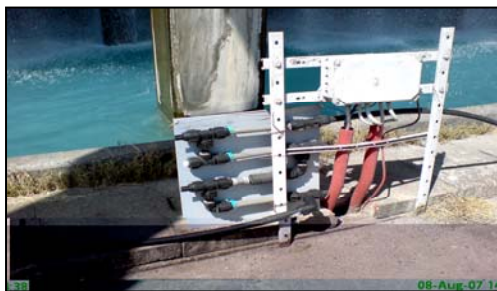
کندانسور واحد ۲ نیروگاه تبریز شامل ۴ عدد واتر باکس (۲ عدد ورودی با آب سرد حدود ۲۰ درجه سانتیگراد و ۲ عدد خروجی با آب گرم حدود ۳۰ درجه سانتی گراد) میباشد که مساحت تقریبی داخل هرکدام شامل ۳۰ متر مربع دیواره از جنس کربن استیل، ۱۴ متر مربع تیوب شیت از جنس مانزمتال و لوله ها از جنس مس میباشد. با توجه به اینکه مس و آلایژ مس در مقابل آهن نجیبتر میباشد لذا اگر خوردگی دیواره که از جنس کربن استیل میباشد متوقف گردد مشخص میشود که در تیوبها نیز متوقف شده است. بنا بر این حفاظت بر روی دیواره واتر باکسها متمرکز گردید. به این معنا که در صورت متوقف شدن خوردگی دیواره واتر باکس مطمئنا در سایر قسمتها خوردگی نخواهیم داشت.

همانطور که اشاره شد جهت حفاظت از آند روی با مشخصات ارائه شده در شکل شماره (۱) استفاده گردید.

1	Application	Hall Anode
2	Chemical composition	Cu: 0.015% Max Al: 0.1 - 0.50% Fe: 0.015% Max Zn: Remainder Cd: 0.025 - 0.07 % Pb: 0.06 % Max All others: 0.002% Max
3	Dimension & Weight	Anode Dimension: (55L*110W*50D) mm Core Dimension: (50L*38W*6H) mm Net Weight: 21.3 kg Gross Weight: 22.1 kg
4	Cable	Yes Length: Size: Type: No Other Link:
5	Base/ID	Yes Chlorine Plastic Sodium Sulphate No
6	Electrical characteristics	Voltage: 0.1 V Capacity: 780 Ah/kg Consumption Rate: 11.2 kg/An-p-Year Max Efficiency: 90%
7	Standard	MIL-A-1001J

شکل (۱)

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۵)

مجموعاً ۳ عدد کوپن در تست لوپ نصب گردید که ۲ عدد از آنها با نصب قطعه کوچکی از آند روی در حالت محافظت قرار داده و کوپن سوم بدون هیچگونه محافظتی در لوپ نصب گردید. با توجه به اینکه سرعت خطی جریان آب بر روی سرعت تشکیل رسوب تأثیر دارد (هر چه سرعت خطی جریان آب بیشتر باشد سرعت تشکیل رسوب کمتر خواهد شد) و با توجه به اینکه آندها در کندانسور در نقاط مختلف واتر باکس نصب شده‌اند که دارای سرعتهای خطی متفاوت در عبور آب هستند، سرعت عبور آب از سطح کوپنها تقریباً در حدود ۱/۸ الی ۲ متر بر ثانیه (سرعت عبور آب از داخل لوله‌های مسیر CRF) در نظر گرفته شد و با نصب یک دستگاه دبی سنج در مسیر عبور آب، سرعت آن تنظیم گردید. این کوپنها به مدت هفت ماه در تست لوپ قرار داده شدند. کوپن شماره (I) در طول این مدت دوبار از تست لوپ خارج و رسوبات تشکیل شده بر روی آند روی تمیز گردید و مجدداً در جای خود نصب شد. کوپنهای شماره (II) و (III) در طول مدت آزمایش در محل نصب شده در تست لوپ باقیماندند.

برای تمام کوپنها سرعت خوردگی بر حسب mpy محاسبه گردید که نتایج در جدول شماره (۱) آمده است.

جدول شماره (۱)

شماره کوپن	تقلیل وزن کوپن (mg)	تقلیل وزن آند (mg)	سرعت خوردگی کوپن (mpy)
(I)	32	244.6	0.15
(II)	61.9	94.4	0.29
(II)	181.7	----	0.86

پس از گذشت ۷ ماه، در تعمیرات دوره ای بعدی با بازکردن واتر باکسها مشاهده گردید که رسوب سفید رنگی مطابق با شکل (۳) با وزن متوسط ۱۰۰ گرم بر روی هر آند قرار گرفته است. میانگین کاهش وزن آندها در این مدت برابر ۱۰۰ گرم برای هر آند اندازه گیری شد.

با توجه به کاهش وزن اندک آندها این مساله مورد تردید قرار گرفت که آیا رسوب گذاری میتواند عامل کندی یا حتی توقف کارکرد آند گردد. در ابتدا اقدام به آنالیز نمونه ای از آندها شد تا از مطابقت آن با مشخصات ارائه شده در مدارک اطمینان حاصل گردد. با توجه به نتایج آنالیز (شکل شماره ۴) مشکلی در جنس آندها مشاهده نگردید.



شکل (۳)

Al	Cu	Fe	Pb	Cd	Mg	Mn	Ni	Sn	Ti	Zn
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0.337	0.003	0.033	0.010	0.041	0.007	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	99.770

شکل (۴)

نتایج آزمایشگاهی

برای شبیه سازی آنچه که در کندانسور اتفاق می افتد از لوپ تست خوردگی استفاده شد. در این لوپ امکان قرار دادن چند کوپن (از جنس فلز مورد نظر) وجود دارد. برای این منظور لوپ به صورت آن لاین در مسیر آب گرم برگشتی از کندانسور واحد ۲ بخار بر روی رایزر شماره ۴ نصب شد. کوپنهای نصب شده در این لوپ از نوع استاندارد و از جنس Carbon Steel می باشند که با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم قبلاً توزین شده و در مکانهای از پیش تعیین شده بسته شدند (شکل شماره ۵).

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

قابلیت کاهش جریان این رسوبات و طبیعت رسوبات نمکی بوجود آمده روی آند فداشونده تاثیر سودمندی در افزایش راندمان کاری سیستم حفاظت کاتدی دارد. تشکیل این رسوبات روی سطح آند می‌تواند احتمالاً ناشی از دلایل زیرباشد:

۱- کیفیت آب سیکل خنک کاری :

همانطور که در جدول شماره ۳ نشان داده شده است، و پس از کنترل شیمیایی از نظر رسوبگذاری و خوردگی احتمالی، ملاحظه می‌گردد که آب برج خنک کن با کیفیت مطلوبی وارد کندانسور می‌گردد، با توجه به اینکه دمای آب ورودی به کندانسور به طور میانگین $21/6^{\circ}\text{C}$ و دمای آب خروجی به طور میانگین $29/5^{\circ}\text{C}$ می‌باشد بنابراین در طول مسیر خنک کاری در اثر بالا رفتن تدریجی دما احتمال دارد شرایط شیمیایی آب اندکی تغییر کرده و زمینه برای ایجاد رسوبات دیسپرس فسفات و کربناته فراهم شود. که این مورد در حجم رسوبات سطحی آندها در ورودی و خروجی کندانسور تأثیر گذاشته طوریکه مقدار این رسوبات در آندهای خروجی کندانسور اندکی بیشتر است. با گذشت زمان این لایه ضخیم تر شده و مقاومت، چسبندگی و انسجام بیشتری در سطح فلز آند ایجاد کرده و در نتیجه از راندمان حفاظتی آن می‌کاهد. قابل ذکر است که وجود یونهای Zn^{+2} حاصل از فعالیت آندی نیز سبب تسریع در تشکیل این فیلم سطحی می‌شوند.

جدول (۳)

pH	Con d.	TH	CaH	MgH	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Zn ²⁺
7.5	2500	800	400	400	400	3	700	1
8.0	3000	1200	500	700	600	5	900	2
	μs/cm	ppm as CaCO ₃			Ppm			

۲- آلکالیزاسیون در سطح مشترک فلز- محلول

بدنبال پلاریزاسیون کاتدی در interface فلز-الکترولیت شرایط آلکالینیته بوجود آمده و در نتیجه رسوبات آهنی کربنات کلسیم ایجاد می‌گردد. اگر این فلیانیت با افزایش پلاریزاسیون کاتدی بالا رود فیلم نازکی از سایر رسوبات نظیر

همانگونه که در جدول فوق مشاهده می‌شود، اثر حفاظتی آند روی در کاهش سرعت خوردگی فلز کربن استیل مشهود است (کوپنهای I، II و III). اما تشکیل رسوبات بر سطح آند سبب کاهش اثر حفاظتی شده و در نتیجه سرعت خوردگی فلز کربن استیل نسبت به حالتی که رسوبات از سطح آند پاک می‌شوند، بیشتر می‌شود (کوپنهای II و III). همانگونه که از جدول فوق برداشت می‌شود، با کاهش اثر حفاظتی آند بر اثر تشکیل رسوبات سطحی سرعت کاهش وزن آند نیز کاهش می‌یابد.

رسوبات سطحی آند بعد از مدتی بر سطح آند تشکیل می‌شوند. این رسوبات در ابتدای فرایند حفاظت با سرعت بیشتری تشکیل می‌شوند اما با گذشت زمان و ضخیم شدن رسوبات سرعت تشکیل آنها تقلیل و در نتیجه سرعت راندمان حفاظت فلز نیز کاهش می‌یابد. این لایه با ایجاد پلاریزاسیون غلظتی در سطح آند مانع از آزاد شدن کاتیونهای روی (Zn^{2+}) که الکترونهای خود را جهت حفاظت به فلز کربن استیل داده‌اند، می‌شود و در نتیجه سبب کاهش سرعت واکنش تبادل الکترون از روی به فلز شده و راندامان حفاظت کاهش می‌یابد.

بدنبال آنالیز فوق، برای مشخص شدن کیفیت رسوبات تشکیل شده آنالیز XRF نیز صورت پذیرفت که نتایج آن در جدول شماره (۲) آورده شده است.

جدول (۲)

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1091	3.37	0.75	1.22	6.05	0.06	0.04	0.79	0.016	0.028	15.80

Sample	SO ₃	L.O.I	Cl	Ba	Sr	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr
	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1091	0.163	16.86	4438	735	553	214	435100	107	41	5

نتایج آنالیز نشان می‌دهد که بخش اعظم این رسوبات شامل ترکیبات فسفات و کربناته‌ای است که در آب سیکل خنک کاری وجود دارند. این رسوبات باعث پلاریزاسیون غلظتی و در نتیجه کاهش جریان لازم برای نگهداری سازه فولادی در یک پتانسیل از پیش تعیین شده می‌شوند. لذا

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

فسفاتها، هیدروکسیدها و... نیز در سطح فلز تشکیل شده که این رسوبات به مرور رشد کرده و در نتیجه از فعالیت حفاظتی آند می‌کاهند.

برای افزایش راندمان کاری سیستم حفاظت کاتدی و کاهش جریان این رسوبات پیشنهاد میگردد:

- در صورت امکان بایستی در هر اورهالی این رسوبات را از روی آند پاک کرد.
- برای بررسی دقیق نحوه تشکیل فیلم سطحی رسوبات بایستی پارامترهای پتانسیل، جریان، زمان و سرعت الکترولیت و درجه حرارت الکترولیت را بررسی کرد.
- با توجه به اینکه نوع آند مصرفی بستگی به شرایط ویژه الکترولیت از جمله مقاومت ویژه، pH، رطوبت و همچنین خواص و قابلیت‌های هر آند دارد، بنابراین با دانستن مقاومت الکترولیت می‌توان سایر آندهای فداشونده نظیر آلومینیوم و منیزیم را نیز تست کرد.

نتیجه گیری

آزمایشات نشان داد که آندهای روی میتوانند دیواره واتر باکسها را از خوردگی محافظت کنند. به نحوی که سرعت خوردگی در حالت بدون حفاظت ۶ برابر حالتی است که با آند روی محافظت میشوند. رسوب گذاری به عنوان مانعی بر سر راه حفاظت عمل میکند بنابر این محافظت وقتی بیشترین بازدهی را دارد که سطح آندها در هر فرصت به دست آمده از رسوبات پاک شوند. جایگذاری آند از جنس منیزیم به جای روی میتواند جهت مطالعات بعدی در نظر گرفته شود.

منابع

- ۱- جزوه آموزشی دوره حفاظت کاتدی انجمن خوردگی ایران
- ۲- استانداردهای BS 7361, NACE RP 0193, 0285, 0169
- ۳- گزارش پروژه نصب آندهای فداشونده در کندانسور واحد ۲ نیروگاه بخار تبریز