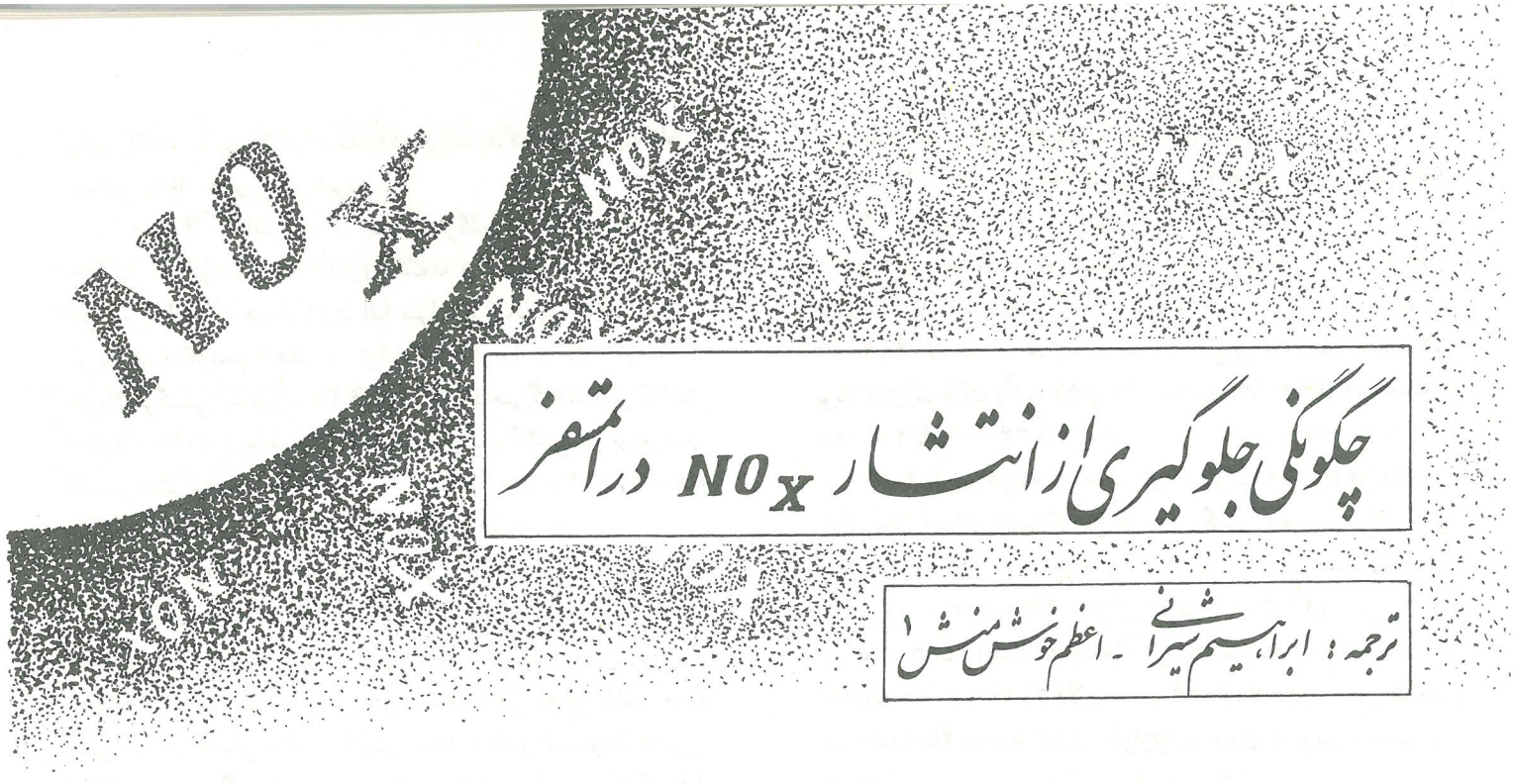


چگونگی جلوگیری از انتشار NO_x در اتمسفر

ترجمه: ابراهیم سیرانی - اعظم خوش منش[1]

اکسیدهای نیتروژن مانند اکسیدهای گوگرد غالباً در پروسه احتراق تشکیل می‌شوند. البته برخی صنایع نیز در پروسه‌های صنعتی خود این گاز را منتشر می‌نمایند. در سال ۱۹۸۷ حدود ۱۹۰۵ میلیون تن گاز NO_x وارد محیط شده است که ۴۳ درصد آن از منابع متحرک و مابقی از منابع ساکن حاصل شده و اکثراً در اثر احتراق سوختها بوده است. بر اساس آمار U.S.C.A.A[2] هدف اولیه برای کاهش تولید NO_x، مراکز تولید انرژی الکتریکی خواهد بود. علاوه بر آن C.P.I[3] نیز در رابطه با کاهش NO_x مورد توجه است.

اکسید نیتروژن (NO) و دی اکسید نیتروژن (NO_2) در اثر اکسیده شدن نیتروژن موجود در سوخت (NO_x سوختی) و همچنین اکسیده شدن نیتروژن موجود در هوای احتراق در دمای بالا و در مجاورت شعله (NO_x حرارتی) تشکیل می‌شوند. تشکیل NO_x سوختی بستگی به عواملی از قبیل میزان نیتروژن در سوخت، میزان کل هوای اضافی، توزیع نسبی هوای اولیه و ثانویه در عمل احتراق دارد. تشکیل NO_x حرارتی نیز تحت تأثیر عواملی از قبیل میزان اکسیژن در دسترس، دما، فشار و زمان اقامت در واحد احتراق است.

طراحی، عملکرد اتاقهای احتراق و مشخصات سوخت، توزیع نسبی NO_x سوختی و حرارتی و همچنین تکنیکهای مناسب برای کاهش NO_x را تعیین می‌کنند. برای مثال در توربینهای گازی میزان نیتروژن سوخت کم است و به همین دلیل NO_x حرارتی بیشتر از NO_x سوختی تولید می‌شود. بنابراین کنترلی که در مورد این توربینها انجام می‌گیرد در جهتی است که حداکثر دمای شعله و میزان اکسیژن در دسترس را به حداقل برساند. از سوی دیگر حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد NO_x منتشره در کوره‌های آشغال سوزی شهرداریها ناشی از NO_x سوختی است. بنابراین برای کاهش NO_x ناشی از این منابع بایستی ترکیبات نیتروژن‌دار را جداکرده و توزیع و اختلاط مناسبی از هوا ایجاد نمائیم.

با استفاده از سوختهای با نیتروژن کم، اصلاح در طراحی و شکل عملیات واحدهای احتراقی و نیز اضافه کردن کنترلها می‌توان انتشار NO_x را کاهش داد. اصلاح عمل احتراق شامل ایجاد جریان سیرکوله گاز[4] (F.G.R)، استفاده از مشعلهای با تولید کم NO_x و استفاده از هوای احتراق مرحله‌ای است. هر یک از این روشها را می‌توان به تنهایی بکار برد و یا ترکیبی از آن‌ها را همراه یک سیستم کنترل استفاده نمود. دو تکنولوژی متفاوت برای کاهش NO_x که هم در سیستمهای قدیمی و هم سینستمهای جدید بکار گرفته می‌شوند عبارتند از روش S.C.R[5] با استفاده از کاتالیست انتخابی کاهنده و روش S.N.C.R[6] که بدون استفاده از کاتالیست کاهنده است.

۱- جریان سیرکوله گاز

در این روش بخشی از محصولات احتراق را جداکرده و از طریق گلوگاه مشعل (مطابق شکل ۱) به کوره برگشت می‌دهند. این عمل باعث کاهش دمای ماکزیمم شعله شده و همچنین درصد اکسیژن راکاهش داده و در نتیجه میزان اکسیژن در دسترس

---

۱ - اعضاء هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان

برای واکنش با نیتروژن را محدودتر می‌نماید که خود باعث کاهش تشکیل NO_x حرارتی می‌شود.

معمولاً" افزایش میزان جریان برگشتی سبب کاهش NO_x حرارتی می‌شود ولی ناپایداری شعله و کاهش گرمای خالص خروجی را نیز به دنبال دارد. لذا میزان جریان برگشتی محدود می‌باشد. ماکزیمم کاهش در تولید NO_x در واحدهای گازسوز با جریان برگشتی به میزان ۱۵ درصد ایجاد می‌گردد. این کاهش حدود ۷۰تا۸۰ درصد است. میزان جریان برگشتی در بویلرهائی که سوخت آنها نفت پالایش شده است در حدود ۱۲تا۱۳ درصد است که کاهش NO_x حرارتی در آنها کمتر است.

F.G.R به طور مؤثر NO_x حرارتی را کنترل می‌کند، خصوصاً" در واحدهای جدیدی که به همین منظور طراحی شده است. از آنجا که F.G.R کنترلی بر روی NO_x سوختی ندارد، این روش در جاهائی که ترکیبات نیتروژنی سوخت مصرفی کم می‌باشد، مانند وقتی که گاز طبیعی ونفت پالایش شده به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد مفید است. F.G.R در بویلرهائی که از زغال سنگ و یا سوختهای پسمانده استفاده می‌کنند چندان مفید نیست زیرا در این سوختها درصد نیتروژن بالاست. در این بویلرها میزان کاهش NO_x با استفاده از F.G.R معادل ۱۰ درصد گزارش شده است.

سرمایه‌گذاری و هزینه‌های سالانه F.G.R، مخصوصاً برای منابع احتراقی که بعداً با سیستم F.G.R اصلاح می‌شوند زیاد است. اصلاح یک بویلر با جریان برگشتی به یک کانال اضافی، یک فن جریان برگشتی، یک دمپر کنترل کننده جریان و در برخی اوقات به یک مشعل جدید نیاز دارد. در برخی موارد اصلاح جعبه یکنواخت کننده هوا نیز مورد نیاز است و همچنین یک فن جدید، در صورت متغیر بودن ارزش حرارتی سوخت، اصلاح وسائل اندازه‌گیری در سیستم کنترل احتراق (که میزان اکسیژن و متواکسیدکربن را آنالیز می‌کند) و اضافه کردن سیستم نگهدارنده مشعل نیز احتیاج است.

برای اعمال ضوابط سازمان تنظیم کننده آئین‌نامه‌های کنترل NO_x در سواحل جنوبی کالیفرنیا[7] S.C.A.Q.M.D، هزینه اصلاح سیستم بویلر از نوع واترتیوب عمودی با ظرفیت حرارتی ۳۵۰ میلیون Btu/hr، ۸۷۵۰۰۰ دلار تخمین زده می‌شود. از این مقدار ۲۲۵۰۰۰ دلار مربوط به مشعل و تجهیزات مورد نیاز است. هزینه‌های دستگاههای کنترل احتراق حدود ۱۶۰۰۰۰ دلار، نگهدارنده شعله ۱۱۰۰۰ دلار، مهندسی و نصب و کارگر ۴۱۹۰۰۰ دلار است. هزینه سرمایه‌ای کل برای اعمال F.G.R در بویلرهای کوچک پکیج (۲۵-۱۵۰ میلیون Btu/hr) در محدوده ۱۰۰۰۰۰ تا ۳۴۰۰۰۰ دلار است.

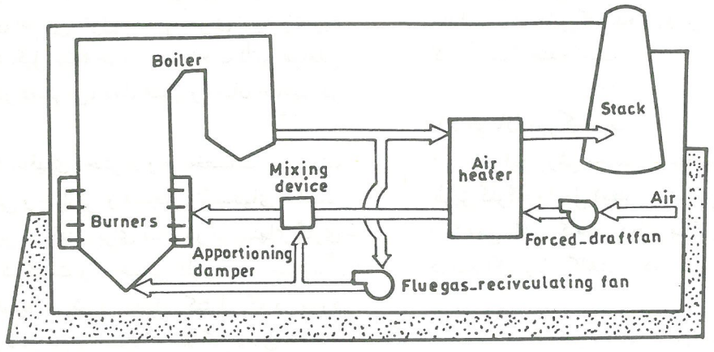
عمده‌ترین هزینه بهره‌برداری در روش F.G.R هزینه انرژی الکتریکی اضافی است که فن جریان برگشتی مصرف می‌کند. توان موتور مورد نیاز برای فن جریان برگشتی برای ظرفیت ۲۵ میلیون بی‌تی‌یوبر ساعت، 5hp و برای ظرفیت ۳۵۰ میلیون بی‌تی‌یو بر ساعت، 65hp است که جمعاً" هزینه مصرف انرژی الکتریکی سالیانه ۲۰۰۰-۲۲۰۰۰ دلار است.[8] E.P.A افزایش قدرت فن را در حدود ۲۵ درصد انرژی حرارتی ورودی به بویلر تخمین زده است.

هزینه‌های سالیانه F.G.R نیز می‌تواند سنگین باشد. برای بویلر واتریتوب با ظرفیت ۲۵ تا ۳۵۰ میلیون بی‌تی‌یو بر ساعت با فرض عمر مفید ۱۰ سال و ۱۰ درصد گاز برگشتی، هزینه‌های سالیانه بین ۱۶۰۰۰ تا ۱۴۳۰۰۰ دلار خواهد بود.

۲ـ مشعلهای با تولید NO_x کم[9]

مشعلهای با تولید NO_x کم سبب کاهش در تولید NO_x حرارتی می‌شوند. در این روش الگوهای اختلاط هوا و سوخت در جهتی پیش می‌رود که سبب کاهش دمای شعله و کاهش غلظت اکسیژن در دسترس گردد. چند نوع مشعل با تولید NO_x کم در دسترس می‌باشد که عبارتند از شعلهای با هوای اضافی کم[10] (L.E.A)، هوای مرحله‌ای و بالاخره سوخت مرحله‌ای.

مشعلهای L.E.A یک مخلوط سوخت و هوای بهینه تولید می‌کنند و طوری طرح شده‌اند که غلظت اکسیژن در دودکش که در مشعلهای معمولی بین ۳تا۶ درصد است به حدود ۰/۵تا۱/۵



شکل ۱ـ جریان سیرکوله گاز (F.G.R) موجب کاهش دمای شعله احتراق میشود و NO_x حرارتی کم میگردد.

درصد برسد. این نوع مشعل تولید NO_x را حدود ۱۰تا۲۰ درصد کاهش داده و می‌تواند با زده بویلر و میزان صرفه‌جوئی در سوخت را حدود ۱تا۲ درصد افزایش دهد. استفاده از مشعلهای L.E.A معمولاً" در سیستمهائی که با چند مشعل کار می‌کنند مشکل است. علاوه بر این، مشعلهای L.E.A در بویلرهایی که با هوادهی اجباری و مکانیکی کار می‌کنند مناسب است و سیستمهای گرم کننده که در آنها هوادهی طبیعی صورت می‌گیرد کاربردی ندارند.

در مشعلهایی از نوع هوادهی مرحله‌ای (L.N.B)، هوا به دو جریان ابتدائی و ثانویه تقسیم می‌شود. همان طور که در مشعل ۲ نشان داده شده، تمام سوخت در گلوگاه مشعل تزریق می‌شود و با هوای اولیه که مقدارش کمتر از نسبت استوکیومتری می‌باشد مخلوط می‌شود. این مخلوط سوخت و هوای غنی در یک ناحیه مشتعل میشود و نیتروژن موجود در آن به آمونیاک، هیدروژن سیانید، و اکسید نیتروژن تبدیل می‌شود که غالباً" به عنصر نیتروژن تبدیل می‌شوند و بدین ترتیب NO_x سوختی کاهش می‌یابد. در محوطه احتراق اولیه که غنی از سوخت است، ماکزیمم دمای شعله کم است و حرارت تولید شده و اولیه به سرعت به درون بویلر پراکنده می‌شود. در مرحله دوم احتراق قسمت دیگری از هوا دمیده می‌شود تا احتراق را کامل کند.

روش هوای مرحله‌ای (L.N.B) روش ساده، ارزان و با بازده بالائی در رابطه با کنترل NO_x است و غالباً" در بویلرهای موجود و بویلرهای جدید و در کوره‌های سوخت زباله مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این روش کاهش ۴۰تا۶۵ درصد NO_x گزارش شده است.

عیب اصلی روش L.N.B ایجاد شعله پهن و بلندتر از مشعلهای معمولی است. شعله‌های بلند باعث ایجاد تنش حرارتی و خستگی فلز مخصوصاً" در بویلرهائی که سطح حرارتی محدودی دارند می‌شود.

در مشعلهایی از نوع سوخت مرحله‌ای، سوخت در دو قسمت هوای احتراق و هوای محترق شده پاشیده می‌شود. یک قسمت از سوخت به صورت خیلی رقیق (هوای غنی) به هوای احتراق تزریق می‌شود و شعله خیلی باریکی در محوطه احتراق ایجاد می‌شود. این نوع احتراق رقیق مثل مشعلهای هوای مرحله‌ای باعث پایین آمدن دمای شعله و در نتیجه کاهش NO_x حرارتی می‌شود. باقی مانده سوخت به محوطه دوم احتراق تزریق شده و می‌سوزد. محصولات احتراق و گازهای بی‌اثر در ناحیه اول ماکزیمم دما را پایین می‌آورد و باعث کم شدن غلظت اکسیژن در ناحیه دوم احتراق می‌شوند و بدین ترتیب از تشکیل NO_x جلوگیری می‌شود. مشعلهای سوخت مرحله‌آی انتشار NO_x را تا حدود ۵۰تا۷۰ درصد کاهش می‌دهد. این نوع مشعلها می‌توانند شعله‌های کوتاهتری ایجاد کند که می‌تواند نگرانی حاصل از وجود خستگی در فلزات را کاهش دهد.

هزینه‌های سرمایه‌ای برای اصلاح یک واحد احتراقی بستگی به فاکتورهائی از قبیل شکل، اندازه و نوع مشعل دارد. طبق

روشهای مختلف کاهش NO_x از طریق اضافه کردن، کنترل جریان گاز یا تغییرات در احتراق

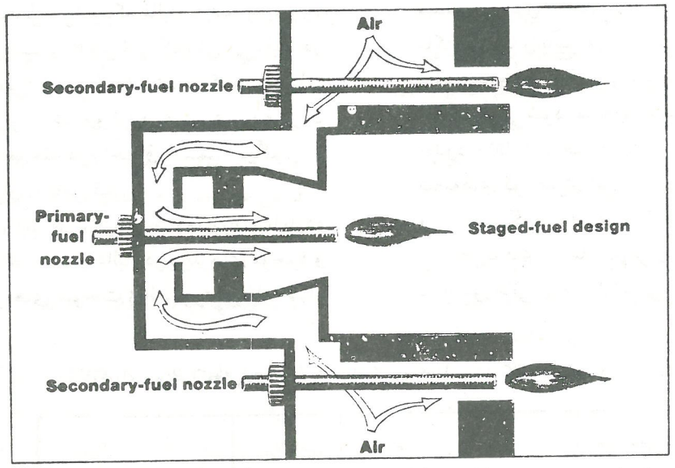
روش	میزان کاهش	شرایط	هزینه نسبی
کنترل جریان گازهای حاصل از احتراق	٪۹۰-۵۰	غالباً در امریکا، ژاپن و اروپا بکار رفته است در توربینهای گازی و بویلرهائی که در آنها از نفت، زغال و گاز به عنوان سوخت استفاده شده است.	زیاد
۱ـروش S.C.R			
۲ـروش S.N.C.R	٪۸۰-۳۰	تزریق آمونیوم در سوختهای فسیلی اعمال می‌شود و در کوره‌های زباله سوز، در ژاپن، امریکا و اروپا مورد استفاده قرار می‌گیرد. تزریق اوره در معدودی تأسیسات بکار رفته است. روش امیدوارکننده است.	متوسط
تغییرات در سیستم احتراق سیرکوله کردن جریان گاز احتراق مرحله‌ای مشعلهای با NO_x کم	٪۵۰-۱۰	لااقل یکی از این روشها بتانسیل لازم برای بکارگیری دارد. ترکیبی از آنها نیز در چند واحد احتراقی بکار برده شده است. امکانپذیری، عملکرد و قیمت خیلی امیدوارکننده است.	متوسط تاکم

گزارشات S.C.A.Q.M.D هزینه اصلاح یک بویلر با ظرفیت ۵ میلیون بی‌تی‌یو بر ساعت در حدود ۳۰۰۰۰ دلار است (۱۸۰۰۰ دلار برای مشعل و تعویض مواد و ۱۲۰۰۰ دلار هزینه نصب) وقتی واحد، با گاز طبیعی کارکند انتشار NO_x از ۰/۱۶ به ۰/۰۷ پوند بر میلیون بی‌تی‌یو کاهش می‌یابد.

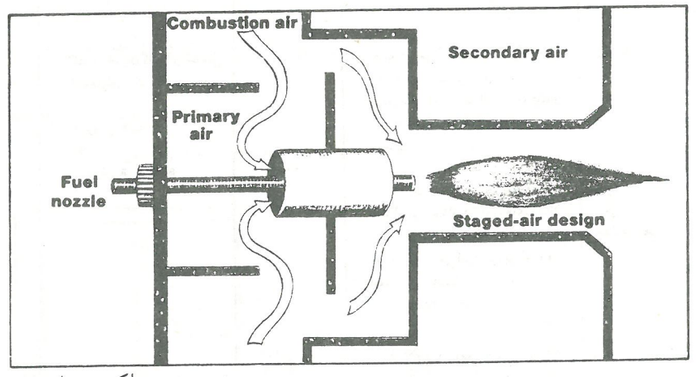
اصلاح یک واحد، شامل جایگزینی کامل مشعل، دریچه مشعل، فن احتراقی، سیستم نگهدارنده شعله، کنترل کننده‌های احتراق و تجهیزات کمکی است. کل هزینه اصلاح شامل هزینه نصب برای بویلرهای با ظرفیت ۲۵ میلیون بی‌تی‌یو بر ساعت، ۷۳۰۰۰ تا ۷۸۰۰۰ دلار و برای بویلرهای با ظرفیت ۵۰ میلیون بی‌تی‌یو بر ساعت ۹۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ دلار و برای بویلرهای با ظرفیت ۱۵۰ میلیون بی‌تی‌یو بر ساعت بین ۱۶۵۰۰۰ تا ۱۳۵۰۰۰ دلار تخمین زده شده است.

مشعل عبور کرده و به کوره تزریق می‌شود. این عمل باعث ایجاد یک ناحیه غنی از سوخت در محوطه احتراق گردیده و از تولید NO_x جلوگیری بعمل می‌آورد. سپس احتراق در پایین دست جریان در کوره تکامل یافته و نتیجه نهائی تولید NO_x کمتر می‌باشد.

چندین روش S.A.C شامل هوای فوق شعله[12]، کوره‌های خارج از سرویس و biased firing موجود است. در استفاده از روش هوای فوق شعله، محل ورود هوا در بالای مشعل واقع می‌شود که تحت شرایط سوخت غنی محترق می‌شود. روش کوره‌های خارج از سرویس که در مورد کوره‌های با مشعلهای چندگانه بکار می‌رود، مشعلهای بالائی فقط با هوا عملکرده، و مشعلهای پایینی تحت شرایط سوخت غنی عمل می‌کنند. در روش Biased مشعلهای مشخصی تحت شرایط سوخت غنی و تعدادی در شرایط هوای غنی عمل می‌نمایند.



شکل L.N.B-۲ با استفاده از سوخت مرحله‌ای و هوای مرحله‌ای



هوای مرحله‌ای[11]

اساس این روش مشابه تکنیکی است که در مشعلهای L.N.B با هوای مرحله‌ای بکار رفته است ولی این تکنیک در کل واحد احتراقی اعمال می‌شود. در S.A.C بخشی از هوای احتراقی از محدودیت عملکرد هوای مرحله‌ای به تعداد مشعلها، فضا برای هوای فوق شعله و زمان ماند بستگی دارد. هزینه عملیات بسیار قابل توجه است. در این روش کاهش NO_x برای گاز طبیعی به میزان ۶۰ تا ۷۰ درصد و برای زغال سنگ و محصولات نفتی ۴۰ تا ۵۰ درصد مشاهده شده است.

یکی از مؤثرترین روشهای کنترل NO_x، احیاء NO_x به نیتروژن در مقابل کاتالیزور است (شکل ۳) که در آن آمونیاک به شکل محلول آبی یا غیر آبی به بالا دست جریان گاز قبل از بستر کاتالیزور تزریق می‌شود. در سطح کاتالیزورها، NO_x و NH_3 ترکیب شده، به نمکهای آمونیم و سپس به نیتروژن و آب تبدیل می‌شوند. کاتالیزورها انرژی فعال تجزیه NO_x را کاهش داده و بدین ترتیب از این تکنولوژی می‌توان در دماهای پایین‌تر از دمای مورد نیاز برای سایر روشهای کنترل بوسیله اضافه نمودن استفاده کرد.

در محلول S.C.R کاهش واکنش NO_x در محدوده باریکی از دما، معمولاً بین F° ۹۵۰ - ۵۰۰ انجام می‌شود و بستگی به نوع کاتالیزور دارد. در دماهای بالاتر از دمای ماکزیمم، آمونیم اکسید شده به NO_x یا نیترات آمونیم و نیتریت آمونیم تبدیل می‌شود. همچنین در عملیات پایین‌تر از دمای بهینه انرژی لازم جهت واکنش فراهم نمی‌شود.

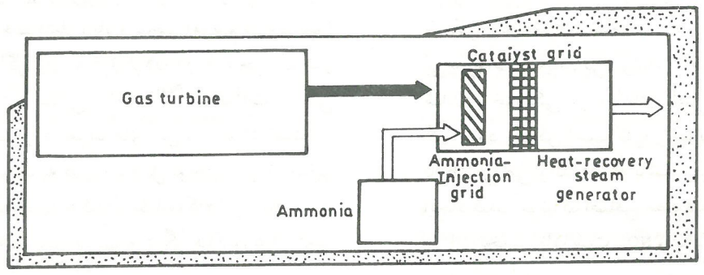
محل قرارگرفتن کاتالیزورها در بالا دست پروسه قابل اهمیت است و یکی از فاکتورهائی است که امکان‌پذیری روش S.C.R به آن بستگی دارد. برای مثال در اکثر بویلرهای صنعتی کاتالیزورها نباید در پایین دست اکونومایزر قرار بگیرند. زیرا در این قسمت، غالباً دما پایین‌تر از محدوده دمای عملکرد کاتالیزورها است و در این صورت بایستی دوباره گازها را گرم کنیم. بدین لحاظ کاتالیزورها معمولاً در بالا دست اکونومایزر قرار داده می‌شوند.

فاکتورهای دیگری نیز علاوه بر درجه حرارت در عملکرد S.C.R مؤثر می‌باشد. این عوامل عبارتند از: جنس کاتالیزور، شکل کاتالیزور، سولفور و فلزات موجود در سوخت و طراحی سیستم پاشش آمونیم.

کاتالیزورها در اشکال مختلف (شکل لانه زنبوری، صفحات تیغه مانند موازی، حلقه‌ای) و جنسهای مختلف (فلزات پایه نظیر تیتانیم، وانادیم، پلاتینیم، زئولیتها و سرامیکها) در دسترس هستند. هر ترکیب کاتالیزور مزایا و معایبی دارد که بر حسب دمای عملکرد، کثیف شدن کاتالیزور و افت فشار ظاهر می‌شوند.

اولین کاربردهای S.C.R، با مشکلات مختلفی روبرو شد. این مشکلات شامل مسدود شدن منافذ کاتالیزور توسط ذرات ریز، سائیده شدن کاتالیزور بوسیله ذرات سخت معلق در جریان، مسموم شدن کاتالیزور توسط SO_2 و فلزات موجود در سوخت (مثل آرسنیک)، تبدیل SO_2 به SO_3 و در نتیجه ایجاد آمونیم و سولفات روی کاتالیزورها و تجهیزات موجود در پایین دست جریان می‌باشد.

تلاشهای تحقیقاتی گسترده سبب حل این مسائل و مشکلات شده است. کاهش میزان آمونیم تزریقی به اندازه‌ای که میزان آمونیم اضافی (آمونیومی که بدون عبور از واکنش از بستر عبور می‌کند) کمتر از 5ppm باشد سبب مینیمم کردن تشکیل



شکل S.C.R-۳ در حذف NO_x بسیار مؤثر است اما به دلیل متغیر بودن اندازه کاتالیزور قیمت آن متغیر می‌باشد.

بی‌سولفات می‌شود. استفاده از کاتالیزورهای تیتانیم و وانادیم همچنین باعث کاهش سولفات می‌شود. کاتالیزورهای مشخصی مانند تیتانیوم و زئولیت تا اندازه‌ای در مقابل مسمومیت SO_2 مقاومند.

کاتالیزورهای از نوع فلزات پایه تا اندازه‌ای برای مورد حمله قرار گرفتن توسط اسید هیدروکلریدریک مساعد هستند. بنابراین آنها را باید در پایین دست دستگاه کنترل کننده اسیدهای گازی قرار داد (یا ازکاتالیزورهای مقاوم در مقابل Hcl استفاده کرد). سطوح اسیدی کاتالیزورهای S.C.R در مجاورت فلزات قلیائی و آرسنیک موجود در جریان گاز واکنش نشان می‌دهد.

مسدود شدن منافذ کاتالیزور توسط ذرات ریز غبار (با قطر کوچکتر از ۱μ) را توسط دمیدن گاز و شستشو با آب می‌توان مینیمم کرد. در صورتی که شکل کاتالیزورها به صورت صفحات موازی باشد مسدود شدن و سائیدگی آنها کاهش می‌یابد و لذا در جاهائی که ذرات ریز زیادی در جریان گاز وجود دارد مثل احتراق زغال سنگ، از این نوع کاتالیزورها استفاده می‌شود.

کاتالیزور لانه زنبوری را در جاهائی که گاز ذرات ریز زیادی

دارد مورد استفاده قرار نمی‌دهند اما غالباً" در جاههائی که ذرات ریز کم باشد بکار گرفته می‌شود. زیرا این نوع کاتالیزورها سطح مخصوص زیادی دارند. این سطح مخصوص زیاد سبب می‌شود که در شرایطی که از لحاظ فضای در دسترس محدودیت وجود دارد مورد استفاده قرار گیرد. کاتالیزورهای لانه زنبوری افت فشار زیادتری نسبت به کاتالیزورهای صفحه‌ای ایجاد می‌کند.

عمر کاتالیزورها بستگی به نوع کاتالیزور، کاربرد و فاکتورهای دیگری دارد. عمرهائی به طول هفت سال در صنایع گازسوز و نفت سوز و پنج سال در صنایع زغال سوز گزارش شده است. فروشندگان معمولاً" عمر کاتالیزورها را در توربینهای گازی ۳ سال ضمانت می‌کنند.

روش S.C.R یکی از گرانترین تکنولوژیهای کنترل NO_x است و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه زیادی برای کاتالیزور، نمایش دهنده‌ها و دستگاههای کنترل دارد. هزینه بهره‌برداری در رابطه با جایگزینی کاتالیزور و دور ریز آن، مصرف آمونیم و انرژی الکتریکی (برای غلبه بر افت فشار زیاد و تبخیر آمونیم در سیستم) نیز قابل ملاحظه است. اگر نیاز به گرم کردن دوباره جریان گاز داشته باشیم هزینه‌های اضافی و احتمالاً" تجهیزات کمکی سوخت را باید به حساب آورد. هزینه‌های این تکنولوژی بستگی به هر محل داشته و می‌تواند به صورت قابل توجهی در اثر متغیر بودن اندازه کاتالیزور، غلظت NO_x کنترل نشده، کاهش NO_x مورد نیاز، خواص سوخت و سهولت نصبت و دیگر فاکتورها متغیر باشد.

هزینه سرمایه‌گذاری برای اصلاح بویلرهای نفت سوز صنعتی از ۱/۵ میلیون دلار برای ظرفیت ۵۰ میلیون‌بی‌تی‌یو بر ساعت تا ۵ میلیون دلار برای ظرفیت ۳۵۰ میلیون بی‌تی‌یو بر ساعت تغییر می‌کند.

طبق مطالعات انستیوی تحقیقاتی پاور هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای اصلاح یک دیگ بخار از نوع لوله دیواره‌ای با ظرفیت ۵۰۰ MW به روش S.C.R، ۱۰۰ دلار به ازای هر کیلووات است که ۲۰$/kw آن صرف هزینه‌های اصلاح دیگ و ۴۲ درصد آن صرف هزینه کاتالیزور و راکتور می‌گردد. سازمان S.C.A.Q.M.D در کالیفرنیا هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه برای دیگهای بخار در محدوده ۵۰تا ۳۵۰ میلیون بی‌تی‌یو بر ساعت را به ترتیب حدود ۹۸۰۰۰تا ۵۴۱۰۰۰ دلار تخمین زده است. علیرغم گرانی، سیستم S.C.R می‌تواند کاهشی در حدود ۸۰تا ۹۰ درصد در مقدار NO_x ایجاد نماید.

کاهش غیرکاتالیزوری [۱۴]

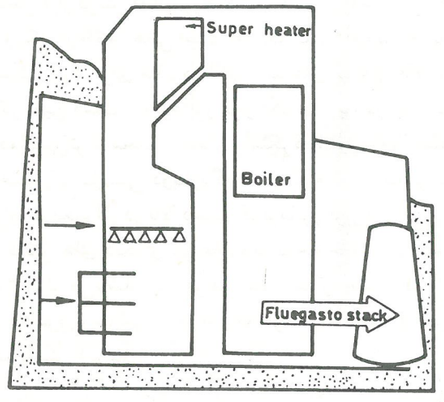
یک روش کنترل و کاهش NO_x غیر کاتالیزوری استفاده از روش بعد از احتراق است که بوسیله تزریق آمونیاک یا ترکیبات اوره به درون اتاقک احتراق یا محلی مناسب از لحاظ دمائی در پایین دست جریان تزریق می‌شود و NO_x را کاهش می‌دهد (شکل ۴). از آنجا که کاتالیزور بکار گرفته نمی‌شود، S.N.C.R فقط در دمای بالا مفید است. از اینرو این روش معمولاً" در واحدهائی چون توربینهای گازی استفاده نمی‌شود.

دمای گاز در کاهش موفقیت آمیز NO_x نقش اساسی دارد. برای واحد احتراقی معمولی محدوده دمای بهینه تزریق آمونیاک بین ۱۶۰۰تا ۱۷۵۰°F و برای اوره ۱۰۰۰تا ۱۹۰۰°F است. در دماهای بالاتر از مقدار بهینه، آمونیاک و اوره بیشتر با اکسیژن ترکیب می‌شوند تا با NO و به این سبب NO افزایش می‌یابد.

در دمای زیر مقدار بهینه، سرعت واکنشهای آمونیاک یا اوره کاهش می‌یابد و باعث ایجاد لایه‌های آمونیوم و کاهش NO_x می‌شود. پس نگهداشتن دما در یک محدوده مناسب، بیشترین اهمیت را در بهره‌برداری و طراحی دارد.

معایب S.N.C.R مشابه S.C.R می‌باشد. نمکهای آمونیوم مصرف نشده با اسید سولفوریک حاصل از واکنش SO_3 و آب ممکن است تولید نمکهای آمونیم مانند سولفات آمونیوم و بی‌سولفات نمایند. بی‌سولفات آمونیوم می‌تواند باعث کثیف شدن و خوردگی در دماهای پایین در تجهیزات و مبدلهای پیش گرم شود. ممکن است کلرور آمونیوم نیز تشکیل شود که اثرات نامطلوبی می‌تواند داشته باشد زیرا می‌تواند در اتمسفر لایه دود ایجاد کند. آمونیاک اضافی مصرف نشده و در حد غیر قابل قبول، در اثر تخمین نادرست NO_x و یادر اثر بهینه نبودن NO_x و NH_3 بوجود می‌آید.

به دلیل ایمن بودن، اگر چه تزریق اوره به طور وسیعی در مقایسه با آمونیاک بکار نرفته است، اما بیشتر مورد توجه است و استفاده از متانل در روش S.N.C.R دو مرحله‌ای که از اوره استفاده می‌شود به نظر امیدوارکننده است. کلیه این تکنیکها



شکل ۴- S.N.C.R در دمای بالاتر از روش S.C.R در کنترل NO_x عمل می‌نماید.

آزمایش شده است و کاهش NO_x در حدود ۶۰تا ۸۰ درصد است. هزینه بهره‌برداری و سرمایه‌گذاری روش S.N.C.R عمدتاً به خاطر این که نیازی به کاتالیزور ندارد، کمتر از روش S.C.R است. در روش S.C.R از آمونیاک کمتری استفاده می‌کنند و می‌توان از وجود آمونیم اضافی تا اندازه‌ای جلوگیری کرد. (البته آمونیم اضافی در SNCR می‌تواند تا حد۱۰ppm کاهش یابد).

مطالعات انجام شده بر روی روشهای S.C.R و S.N.C.R، نشان می‌دهد که برای دیگهای بخارگازسوز و نفت سوز با ظرفیت ۲۰۰ton/hr یک S.N.C.R با تزریق آمونیم (کمپانی اکسون قسمت تکنیکهای حرارتی) با بازدهی ۶۵تا ۷۰ درصد کاهش در NO_x، هزینه‌ای معادل ۰/۴ میلیون دلار نیاز دارد. در حالی که برای یک واحد S.C.R با همان ظرفیت و بازدهی ۲میلیون دلار سرمایه‌گذاری نیاز است. هزینه سرمایه‌ای کل برای یک سیستم De NO_x حرارتی و برای ۳۰۰MW زغال سنگ حدود ۷ دلار به ازاء هرکیلو وات تخمین زده شده است. سرمایه‌گذاری اولیه برای تزریق اوره حدود ۵تا۱۵ دلار به ازاء هر کیلو وات است. هزینه سالیانه کل برای S.N.C.R کمتر از ۰/۰۰۳تا۰/۰۰۴ دلار به ازاء هر کیلو وات ساعت تخمین زده شده است.

References

1. U.S.Environmental Protection Agency,"Technology Assessment Report for Industrial Boiler Applications: NOx Combustion Modification," Office of Environmental Engineering and Technology, U.S. EPA, Research Triangle Park, N.C., EPA-600/7-79-178f.

2. Pruce,L. Reduce NOx Emissions, Burner, Furnace and Combustion, *Power, Jan.* 1981,PP.33-40.

3. Suyama, K,Operating Experience on SCR System for Steam Generators, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Nagasaki, Japan, 1985.PP.1-5.

4. Lowe, P.A., et al., Assessment of Japanese SCR Technology for Oil-fired Boilers and it's Applicability in the U.S.A., paper presented at the 1989 Joint Symposium on Stationary Combustion NOx Control, March 1989.

5. Balling, L., et al., DeNOx Catalytic Converters for Various Types of Furnaces and Fuels Devdlopment, Testing, Operation. paper presented at the 1989 Joint Symposium on Stationary Combustion NOx Control, March 1989.

6. Eskinazai, D., et al., Stationary Combustion NOx Control, A Summary of the 1989 Symposium. *J. Air Pollution Control Assn.,* Aug. 1989, PP.1131-1139.

7.Lyon, R., Thermal DeNOx-Controlling Nitrogen Oxides Emissions by a Noncatalytic Process, *Environmental Science and Technology,* Vol.21,No.3, March 1987,PP.231-236.

8. California South Coast Air Quality Management District (SCAQMD), Background Report on the Suggested Control Measure for NOx Emissions, 1987,PP.47-109.

9. Robie, C., et al., Technical Feasibility and Economics of SCR and NOx Control in Utility Applications, paper presented at thd 1989 Joint Symposium on Stationary Combustion NOx Control, March 1989.

10. Corbitt, R.A., "Standard Handbook of Envitonmental Engineering," McGraw-Hill, NewYork, 1990.

11. Fogiel, M., ed., "Modern pollution Control Technology," Vol. 1, Air Pollution Control, Research and Education Assn., 1978.

2- U.S Clean Air Act.
3- Chemical Process Industry
4- Flue gas Recirculation
5- Selective Catalytic Reduction
6- Selective Non Catalytic Reduction
7- South Coast Air Quality Management District
8- Environmental Protection Agency
9- Low NO_x Burners
10- Low Excess Air
11- Staged Air Combustion
12- Over Fire Air
13- Selective Catalytic-Reduction
14- Non-Catalytic Reduction