



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

انتشارات گازی از احتراق همزمان لجن فاضلاب و زغال سنگ / چوب در یک بستر سیال

چکیده

احتراق همزمان لجن فاضلاب همراه با زغال سنگ و یا چوب در دو دستگاه بستر سیال دوار (CFB)، یک دستگاه در مقیاس آزمایشگاهی و یک دیگ بخار 12MWth CFB در مقیاس آزمایشی بررسی شده است که در هر دوی آنها، زمان های اقامت گاز قابل مقایسه با موارد در کارخانه تجاری هستند. این بررسی بر روی انتشارات گازهای مضر از احتراق همزمان در مقایسه با تک احتراق در CFB و نفوذ تامین هوا تمرکز دارد. نتیجه نشان می دهد که احتراق همزمان را می توان در کارخانه CFB طراحی شده برای سوخت پایه بدون تجاوز از حدود انتشار اتحادیه اروپا و یا آلمان برای کسرهای انرژی لجن کمتر از ۲۵٪ انجام داد، به جز برای انتشار کلر که باید توسط تصفیه گاز دودکش کاهش یابند. اگر چه لجن فاضلاب شامل مقادیر زیادی از نیتروژن و گوگرد می شود، خواص مفید CFB منجر به کاهش قابل توجهی در اکسیدهای نیتروژن می شود، و تنها چند درصد از نیتروژن به طور موثر به NO و یا N₂O تبدیل می شود. گوگرد را می توان توسط افزودن سنگ آهک معمولی گرفت، اما برای چوب به عنوان سوخت پایه، این روش به اندازه ذغال سنگ، کارآمد نیست.

کلمات کلیدی: لجن فاضلاب؛ احتراق همزمان؛ بستر سیال شده؛ انتشارات گازهای گلخانه ای

1. مقدمه

احتراق لجن برای چندین دهه در بسیاری از انواع محفظه های احتراق [۱] انجام شده است. با این حال، احتراق همزمان لجن با سوخت دیگر (سوخت پایه که برای کارخانه طراحی شده) به تازگی پیشنهاد شده است. علاوه بر این، مقررات زیست محیطی به طور فزاینده شدید شده اند و اضافه نمودن لجن به یک کارخانه احتراق طراحی شده برای یک سوخت پایه ممکن است به تغییرات گران قیمت برای پاسخگویی به شرایط قانونی نیاز داشته باشد. تولید گازهای گلخانه ای از هر دوی فلزات سنگین (از جمله جیوه) و گازهای مضر، موارد نگرانی هستند. هدف از کار

حاضر، بررسی امکان احتراق همزمان لجن فاضلاب با سوخت های پایه، مانند زغال سنگ و یا سوخت های زیستی (چوب)، با توجه به انتشارات گازی، استفاده از احتراق بستر سیال، یک دستگاه احتراق مناسب برای حمل انواع مختلفی از سوخت با قابلیت های خوبی برای کاهش NOx می باشد.

2. پس زمینه تجربی

دستگاه های استفاده شده، محفظه احتراق بستر سیال دوار 12MWth (CFB) واقع در دانشگاه فنی چالمرز (CTH) و واحد CFB مقیاس آزمایشی در دانشگاه فنی هامبورگ-هاربورگ (TUHH) بود. یک طرح شماتیک از دستگاه ها در شکل ۱ داده شده است. محفظه احتراق (۱) واحد CTH دارای یک سطح مقطع مربعی حدود ۲,۲۵ مترمربع و ارتفاع ۱۳,۶ متر است. از طریق یک شوت سوخت (۸)، سوخت به پایین محفظه احتراق تغذیه می شود. مواد جامد گردنده در سیکلون (۲) از هم جدا می شوند و از طریق پایه برگشت ذرات حمل و نقل می شوند (۳)، مهر و موم حلقه (۵)، و مبدل حرارتی خارجی (۶) به محفظه احتراق باز می گردند. هوای احتراق اولیه (۹) به جعبه باد (۷) زیر توزیع کننده گاز تامین می شود، در حالی که هوای ثانویه را می توان به داخل محفظه احتراق (۱۰) یا پایین دست سیکلون (۱۱) اضافه نمود. مجرای خروج، نسوز اندود شده است و به عنوان یک محفظه پس-مشعل (۱۲) عمل می کند. ابعاد واحد CTH نزدیک به مقیاس تجاری هستند، و نتایج به دست آمده قابل انتقال به واحد های صنعتی می باشند. واحد مقیاس آزمایشی در TUHH شامل یک محفظه احتراق استوانه ای (۱) با قطر ۰,۱ متر (سطح مقطع ۰,۰۰۸ مترمربع) و ارتفاع کلی ۱۵ متر می شود. سوخت در داخل بستر متراکم CFB از طریق یک فیدر پیچ (۸) تغذیه می شود. پس-مشعل (۱۲) دارای قطر ۰,۳ متر و طول ۴,۲۵ متر است که منجر به یک زمان اقامت تا حدود ۸ ثانیه می شود. برای اندازه گیری های انتشار، گاز از یک پورت نمونه گیری (۱۳) در نیمی از طول مشعل خارج شد که منجر به زمان اقامت گاز در مجموع حدود ۲,۷ ثانیه تحت شرایط عملیاتی به کار بدره شده می شود. اگر چه این محفظه احتراق از نظر قطر از دیگ بخار CTH به طور قابل توجهی کوچکتر است، در یک پژوهش قبلی نشان داده شده است [۲] که تولید گازهای گلخانه ای عملاً همانند دیگ بخار CTH است، اگر قوانین تشابه مناسب در عملیات پیروی شوند. معیارهای شباهت را می توان با شرایط زیر که باید در هر دو واحد حدوداً یکسان باشند خلاصه نمود:

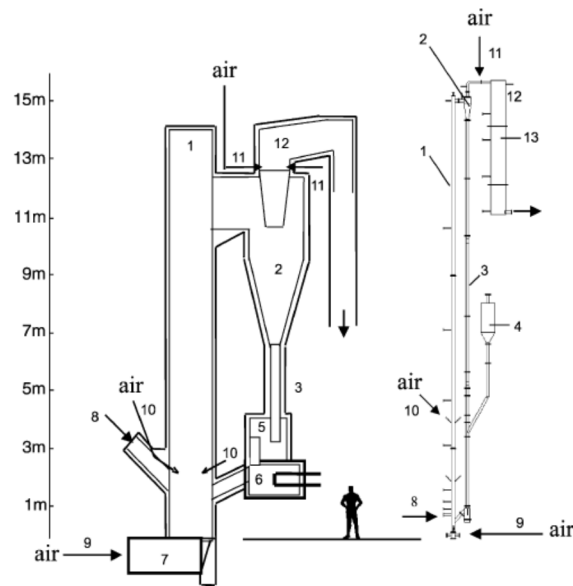
† ماده بستر، سوخت و ماده افزودنی

† زمان اقامت گاز در منطقه گرم

† سرعت سیال شدن

† افت فشار محفظه

† دمای بستر



شکل ۱. امکانات آزمون CFB در Goteborg (سمت چپ) و در TUHH در هامبورگ (سمت راست): (۱)

محفظه احتراق، (۲) سیکلون، (۳) خط بازگشت ذرات، (۴) قیف ماده بستر، (۵) مهر و موم ذرات، (۶) و مبدل

حرارتی، (۷) جعبه باد، (۸) تغذیه سوخت و (۹) تامین هوای اولیه، (۱۰) اضافه نمودن هوای ثانویه به داخل محفظه

احتراق، (۱۱) اضافه نمودن هوای ثانویه پس از سیکلون، (۱۲) محفظه پس-مشعل، و (۱۳) پروب برای استخراج گاز

دودکش.

هر دو دیگ بخار با سیستم های آنالیز گاز روزانه کالیبره شده برای نظارت بر غلظت های گاز دودکش محلی در-

کوره O₂ و CO₂، CO، SO₂، NO₂، NO، N₂O، H₂O، و CxHy مجهز شدند. FTIR برای آشکارسازی پیش

سازهای اکسید نیتروژن خروجی، مانند NH₃ و HCN استفاده شدند.

خواص سوخت ها در جدول ۱ خلاصه شده اند. زغال سنگ و یا پلت های چوبی، سوخت های پایه استفاده شده در هر دو کارخانه بودند. پلت ها برای ارائه یک سوخت همگن و به خوبی تعریف شده استفاده شدند. لجن ها، لجن فاضلاب شهری سوئد (A) بودند، که پس از هضم خشک شدند و در هر دو دستگاه سوزانده شدند، لجن های فاضلاب شهری هضم شده و آبزدايي شده به صورت مکانیکی آلمانی (B) یا سوئدی (C) که نمی توانند منتقل شوند و در نتیجه در دستگاه های مربوطه مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب لجن ها تقریباً با محتوای بالای نیتروژن و گوگرد یکسان است.

شرایط عملیاتی در جدول ۲ نشان داده شده است. شرایط مشابه در دو کارخانه، با برخی از انحرافات کوچک نگهداری شدند. در کارخانه TUHH پشتیبانی شده الکتریکی، افت اندکی در درجه حرارت بستر در ارتفاع بالا برنده وجود داشت (درجه حرارت های بالا و پایین به طور متوسط در جدول داده شده است)، در حالی که دیگ بخار CTH، یک افزایش اندک دما با ارتفاع کوره وجود داشت، اما کاهش در سیکلون و در اتاق پس-مشغل وجود داشت. کاهش دما به این علت رخ داد که خنک کردن از طریق جسم نسوز بیشتر از گرمای منتشر شده توسط احتراق بود (دمای خروجی تا حدودی از موردی به مورد دیگر بسته به مقدار اضافه نمودن لجن متغیر است).

جدول ۱ خواص سوخت مورد بررسی قرار گرفته

Fuel type	Coal	Wood (pellets)	Sewage sludge A dried	Sewage sludge B wet	Sewage sludge C wet
<i>Proximate analysis</i>					
Water (wt%, raw)	9.0	8.1	19.0	73.0	76.6
Ash (wt%, dry)	17.5	0.4	37.9	46.0	43.2
Volatiles (wt%, daf)	32.7	81.7	90.6	90.3	92.4
<i>Ultimate (wt%, daf)</i>					
C	84.9	50.2	53.2	52.1	49.7
H	5.0	6.1	7.1	7.1	8
O	7.7	43.6	30.6	33.2	33.9
S	0.7	0.01	1.9	1.6	1.5
N	1.6	0.12	7.11	6.05	6.9
Cl	0.08	0.002	0.05	0.09	0.08
<i>Lower heating value (MJ/kg)</i>					
$H_{u, daf}$	33.4	18.8	20.9	19.9	23.9
$H_{u, raw}$	24.7	17.2	9.8	2.6	1.5

daf = dry and ash free.

لجن فاضلاب C خیس لجن فاضلاب B خیس لجن فاضلاب A خشک شده چوب (پلت ها) زغال سنگ

نوع سوخت

جدول ۲ شرایط عملیاتی

CTH, زغال سنگ, لجن فاضلاب CTH, چوب, لجن خشک شده CTH, زغال سنگ, لجن خشک شده TUHH, زغال سنگ, لجن خشک شده CTH, زغال سنگ, لجن خشک شده TUHH, زغال سنگ, لجن خشک شده دستگاہ, سوخت پایه, سوخت اضافه شده

Plant, base fuel, added fuel	TUHH, coal, dried sludge	TUHH, coal, wood	TUHH, wood, dried sludge	TUHH, coal, wet sludge	CTH, coal, dried sludge	CTH, wood, dried sludge	CTH, coal, wet sludge
Load, MW _{th}	0.029	0.029	0.028	0.026	6.5	5.5	6.0
Riser temperature, bottom, °C	860	860	860	850	841	841	843
Riser temperature, top, °C	835	835	835	830	855	857	860
Exit temperature of afterburning chamber, °C	845	852	854	851	772	797	783
Total pressure drop of riser, mbar	75	76	75	75	68	68	65
Molar ratio, Ca/S	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	1.9	3.0
Excess air ratio, λ_{total}	1.22	1.22	1.21	1.21	1.23	1.23	1.22
<i>Advanced air staging</i>							
Combustor air ratio, λ_c	1.0–1.23	1.0–1.23	1.0–1.23	1.0–1.23	1.05	1.03	1.03
<i>Normal air staging</i>							
Bottom bed air ratio	0.7	0.7	0.7	0.7	(0.6)*	(0.6)*	(0.6)*

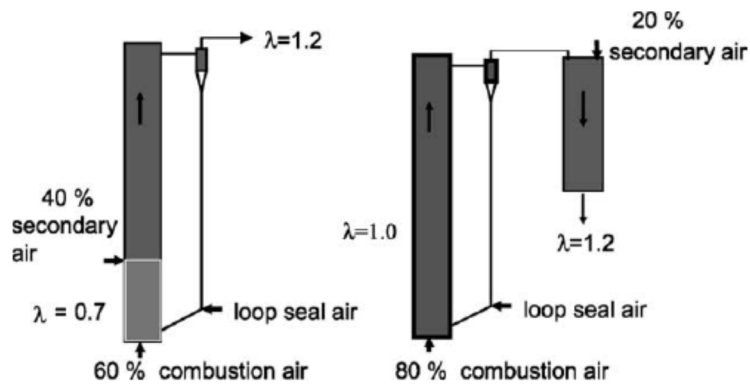
محفظه های احتراق به گونه ای مجهز شدند که داده های ارائه شده در جدول ۲ (به ویژه دماهای بستر) را می توان با وجود تغییرات زیاد در ترکیب سوخت و ارزش حرارتی حفظ نمود. دیگ بخار CTH را می توان با کسر انرژی لجن تا حدود ۵۰٪ برای لجن خشک شده و حدود ۱۰ درصد در مورد لجن مرطوب به کار انداخت، در حالی که دستگاہ TUHH گرم شده الکتریکی را می توان با حتی کسرهای لجن بالاتر به کار انداخت. کلسیم در خاکستر سوخت به وضوح نسبت Ca/S در محفظه احتراق، به خصوص در مورد چوب قبل از افزودن لجن تحت تاثیر قرار می دهد، اما نسبت های داده شده، نسبت های Ca اضافه شده در قالب سنگ آهک هستند. تفاوت بین کل نسبت هوای اضافی و محفظه احتراق و یا نسبت هوای بستر پایین، جریان هوای افزوده شده در در پس-مشعل یا در کوره در طول عملیات به ترتیب با طبقه بندی هوای پیشرفته و یا نرمال است (این مور بیشتر در زیر توضیح داده خواهد شد). به دلیل مکان های مختلف تامین هوا و گاز تولید شده توسط رطوبت سوخت، سرعت تبدیل به مایع در قسمت فوقانی بالابرنده بین ۴،۵ و ۶ m / s بین اجراها تغییر می کند. مشخص نشده است که این مورد، نتایج را تحت تاثیر می دهند بلکه در هنگام ارزیابی غلظت های گاز در نظر گرفته می شوند

این عملیات برای هر وضعیت و تغییرات تنها در مرتبه چند درصد ثبت شد. هر آزمون CTH پس از یک زمان تثبیت ۸-۱۰ ساعت و با مدت زمان ۱۲-۱۶ ساعت انجام شد. در TUHH, زمان های کوتاه تر را می توان مورد استفاده قرار داد، مدت زمان آزمون، از جمله ثبات، معمولا ۱۶ ساعت.

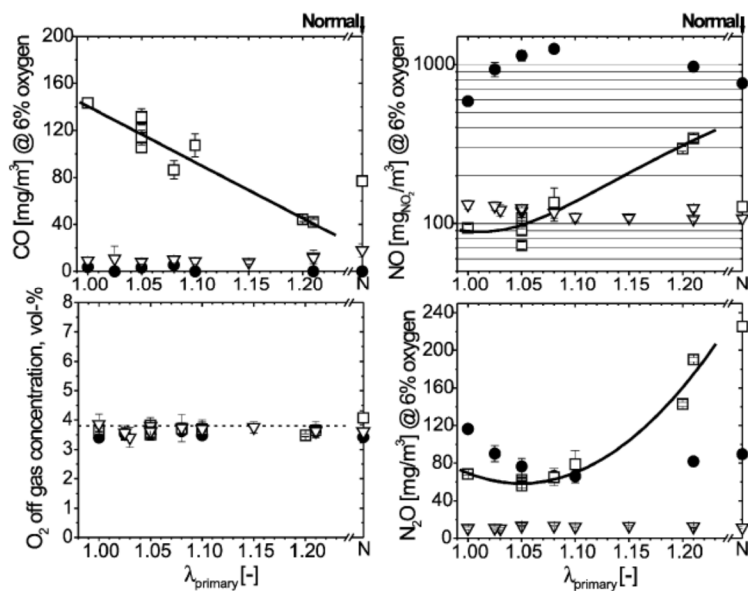
3. اثر طبقه بندی هوا در تولید گازهای گلخانه ای

طبقه بندی هوا، یک معیار شناخته شده مورد استفاده برای کنترل NOx است. در طبقه بندی (نرمال) هوای معمولی، هر دوی هوا اولیه و ثانویه برای بالابرنده (کوره) دیگ بخار CFB تامین می شوند. بنابراین بالابرنده به دو بخش تقسیم می شود. در مرحله اول، زیر تزریق هوای ثانویه، شرایط اکسیژن ضعیف به نفع نابودی NO توسط CO و غلظت های نیمسوز بالا است. پایین دست پورت تزریق هوای ثانویه، در طبقه دوم، فضای غنی از اکسیژن منجر به سوختن مونوکسید کربن و سایر گازهای قابل احتراق واکنش نداده می شود. در طول طبقه بندی هوایی پیشرفته، طبقه دوم پس از جداسازی ذرات جامد از گاز دودکش واقع می شود، در حالی که کل بالابرنده تحت شرایط نزدیک به استوکیومتری عمل می کند (شکل ۲). با این روش، هوا بیشتر برای قسمت پایین محفظه احتراق تامین می شود. این افزایش در مقدار هوا برای قسمت پایین در گرفتن گوگرد با سنگ آهک مفید است. اکسیژن تقریبا به طور کامل در بالای بخش بالابرنده مصرف می شود، و ثابت شده است که موجب کاهش انتشار N₂O می شود. علاوه بر این، انتشار NO کاهش می یابد. اثر طبقه بندی هوایی پیشرفته در انتشار SO₂، N₂O، NO، CO برای اولین بار برای احتراق زغال سنگ مورد بررسی قرار گرفت [۳].

هوای اضافی کلی همیشه حدود ۲۰٪ بود. نتایج نوعی از عملیات با سوخت های تک (تک احتراق) برای نسبت های هوای اضافی مختلف بالابرنده در شکل ۳ نشان داده. سه مورد لازم به ذکر است: (۱) طبقه بندی نرمال (ارائه شده برای مقایسه در محورهای سمت راست نمودارها و نشان داده شده توسط N)، (۲) عدم طبقه بندی، تمام هوا برای پایین بالابرنده تامین می شود و نسبت هوای اولیه، با نسبت هوای کلی ۱،۲ یکسان است، و (۳) طبقه بندی پیشرفته با نسبت هوای اولیه بهینه ۱،۰۵ انتخاب شده است (که در تمام موارد زیر شامل طبقه بندی هوایی پیشرفته استفاده می شود، اگر در غیر این صورت بیان نشده باشد).



شکل ۲. مقایسه طبقه بندی نرمال (شکل سمت چپ) و هوایی پیشرفته (شکل سمت راست). (λ , نسبت هواست)



شکل ۳. اثر نسبت هوای محفظه احتراق روی انتشارات CO و NO در طول تک احتراق ذغال سنگ، لجن و یا چوب

در نسبت هوای مجموع ۱،۲. تسهیلات آزمون TUHH (□)، زغال سنگ؛ (●)، لجن فاضلاب خشک شده، A؛ (▽) چوب). N به معنای طبقه بندی نرمال با هوای ثانویه از طریق ۱۰ نازل تامین در شکل ۱ است.

انتشار CO برای احتراق زغال سنگ می افتد با افزایش تامین هوا برای کوره افت می کند، در حالی که سوخت های بسیار فرار (چوب و لجن) همیشه بازده انتشار CO کمی دارند، همانطور که در یک محفظه احتراق به خوبی طراحی شده (اکسیژن کافی، دما، و زمان) انتظار می رود. انتشار CO بالاتر مربوط به زغال سنگ از تولید CO اضافی از

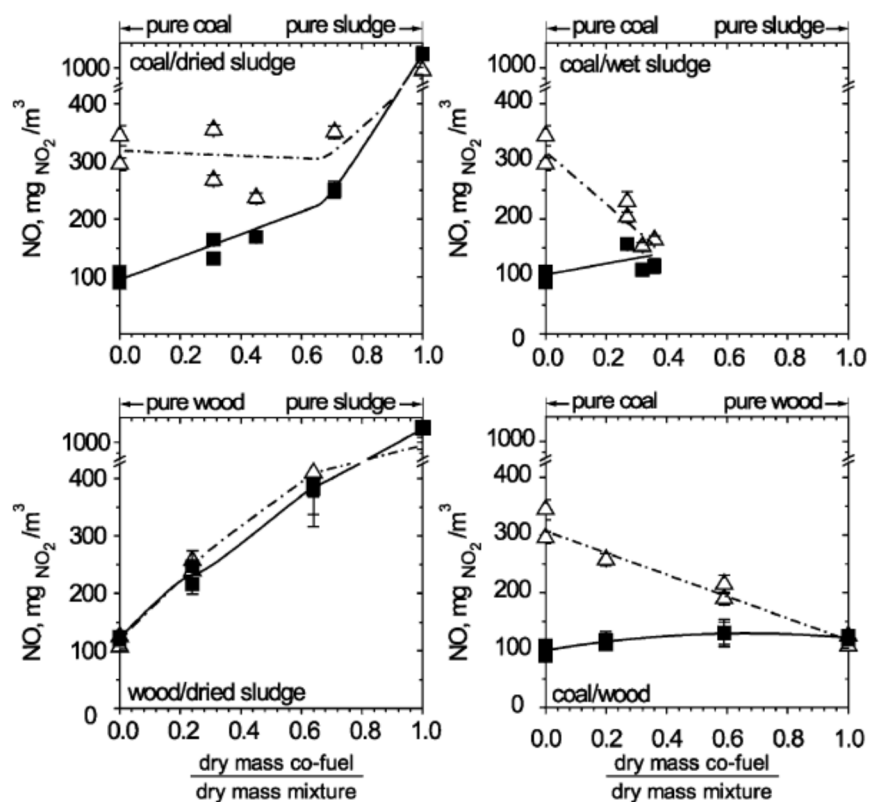
احتراق نیمسوز ایجاد می شود. در طول طبقه بندی پیشرفته با زغال سنگ، غلظت CO برای طبقه بندی طبیعی بالاتر است، اما هنوز هم کم است. افزایش CO با افزایش در غلظت نیمسوز در خاکستر (از دست دادن مواد قابل احتراق) مرتبط است، و باید به سوختن نیمسوز توجه نمود، یعنی، دماهای به اندازه کافی بالا باید در منطقه خروج حفظ شوند. تولید گازهای گلخانه ای NO و N₂O از زغال سنگ به صورت مورد انتظار [۳] رفتار می کنند، و طبقه بندی پیشرفته منجر به بهبود قابل توجه در مقایسه با طبقه بندی نرمال با نقطه مطلوب نزدیک به شرایط استوکیومتری می شود. با این حال، گازهای گلخانه ای از چوب و لجن، هیچ روند روشنی را در رابطه با توزیع تامین هوا نشان نمی دهند. انتشار NO از لجن ممکن است بسیار بالا باشد، در حالی که انتشار از چوب در مرتبه یکسان با زغال سنگ است. شباهت انتشارات NO از زغال سنگ و چوب، یک نتیجه از ترکیبی از محتوای نیتروژن سوخت و ظرفیت آنها برای کاهش NO است، همانطور که در زیر بحث خواهد شد. انتشار N₂O، برای لجن نسبتاً کم است و برای چوب به سختی قابل توجه است.

روندهای مشاهده شده در طول تک-احتراق نیز در احتراق همزمان منعکس شده است: در موارد عملاً مهم با مقادیر متوسط لجن (مثلاً، کسر انرژی کمتر از ۲۵٪) خواص سوخت های پایه بر تصویر انتشار غالب است. به طور طبیعی، زمانی که مورد کرانی لجن خالص نزدیک می شود، خواص لجن، غالب می شوند. به خصوص، تاثیر ترتیب تامین هوا مهم است، همانطور که در شکل ۴ توسط مقایسه بین موارد کرانی نشان داده شده است: طبقه بندی هوایی پیشرفته و طبقه بندی هوا. برای زغال سنگ، یک تفاوت قابل توجه بین دو مورد (در توافق با شکل ۳) وجود دارد. تنها در محتوای لجن بالا، دو مورد منطبق هستند. برای چوب / لجن خشک، تاثیر تامین هوا وجود ندارد، درست مانند مورد لجن خالص. همانطور که قبلاً مشاهده شده است [۴]، در طول احتراق زغال سنگ، غلظت نیمسوز در بستر در مرتبه دامنه بالاتر از احتراق چوب یا لجن است. مشخص شده است که نیمسوز به کاهش NO کمک می کند (و تا حدی نیز به N₂O). زمانی که منبع هوا تغییر می کند، غلظت نیمسوز تحت تاثیر قرار می گیرد (اکسیژن بیشتر، نیمسوز کمتر در بستر)، اما زمانی که غلظت نیمسوز کوچک است، یک تغییر در غلظت نیمسوز، ناشی از، برای مثال، یک تغییر بین پیشرفته و بدون طبقه بندی، در شکل یک تغییر در هیچ انتشار چندان قابل توجه نیست.

این همچنین احتراق همزمان زغال سنگ و چوب را توضیح میدهد، که در آن انتشار به حدود 100 mg/m^3 برای چوب خالص می رسد، در حالی که مقدار متناظر برای لجن خالص حدود 1000 mg/m^3 است که ناشی از محتویات مختلف نیتروژن در چوب و لجن است. اگر چه انتشارات بالا را می توان به دست آورد، به طور معمول تنها درصد کمی از نیتروژن سوخت به NO یا N_2O تبدیل می شود. شکل ۴ نیز مورد لجن مرطوب همزمان-محترقه با زغال سنگ را نشان می دهد. در حال حاضر، دلیل برای روند نزولی (در مقایسه با روند رو به رشد برای لجن خشک شده) با افزایش مقدار لجن ناشناخته است.

4. تولید گازهای گلخانه ای در مقایسه با محدودیت انتشار

تولید گازهای گلخانه ای ناشی از احتراق همزمان لجن با چوب یا زغال سنگ در شکل ۵-۸ به صورت تابعی از کسر انرژی لجن ارائه شده است. یک مقایسه با محدودیت های انتشار با توجه به بخشنامه اخیر اتحادیه اروپا [۵] و قانون موجود آلمان [۶،۷] صورت گرفته است.



شکل ۴. مقایسه طبقه بندی پیشرفته (■) و عدم طبقه بندی (Δ) در طول احتراق همزمان در محفظه احتراق TUHH. (غلظت بر حسب mg/m^3 تحت شرایط استاندارد، بر اساس ۶ درصد حجمی O_2 و مبنای خشک). مقیاس عمودی، کوتاه است.

تولید گازهای گلخانه ای بر حسب mg / m^3 تحت شرایط استاندارد، بر اساس غلظت O_2 بیان شده اند که بین مقادیر برای کوره های پسماند (۱۱٪) و نیروگاه های توان (۶٪) درون یابی شده است. ساختار نمودارها به خواص سوخت بستگی دارد. حد انتشار (EL) برای آلاینده i در گاز خروجی، حاصل از سوزاندن همزمان پسماند، به شرح زیر [۵] محاسبه می شود:

$$EL_{i,mix} = \frac{V_w EL_{i,w} + V_{bf} EL_{i,bf}}{V_w + V_{bf}} \quad (1)$$

که در آن

V_w حجم گاز اگزوز، فقط ناشی از احتراق پسماند، در دما و فشار استاندارد و شرایط عملیاتی در طی احتراق همزمان است

V_{bf} حجم گاز اگزوز ناشی از احتراق سوخت پایه در دستگاه نرمال، m^3/h ، در دما و فشار استاندارد و شرایط عملیاتی در طی احتراق همزمان است

$EL_{i,w}$ حد انتشار برای آلاینده i برای دستگاه های در نظر گرفته شده، فقط برای سوزاندن پسماند، mg / m^3

؛ $EL_{i,bf}$ حد انتشار برای آلاینده i برای دستگاه ها در بخش های صنعتی خاص (به عنوان مثال برای نیروگاه های انرژی)، mg / m^3 است،

از آنجا که $EL_{i,w}$ و $EL_{i,bf}$ به غلظت های مختلف اکسیژن مربوط به سوختن پسماندها یا نیروگاه های انرژی مرتبط می شوند، یک غلظت اکسیژن مرجع ترکیبی باید تعیین شود:

$$C_{O_2,mix} = \frac{V_w C_{O_2,w} + V_{bf} C_{O_2,bf}}{V_w + V_{bf}} \quad (2)$$

که در آن $C_{O_2,w}$ و $C_{O_2,bf}$ به ترتیب غلظت های اکسیژن استاندارد در گاز خارج از دستگاه های سوزاندن پسماند و نیروگاه های برق هستند. غلظت گاز آلاینده i ؛ که در دودکش نیروگاه توان در نسبت هوای خاصی اندازه گیری می شود، به منظور مقایسه با محدودیت های انتشار قانونی، باید برای غلظت اکسیژن مرجع مخلوط مجدداً محاسبه شود

$$C_{i@O_2,mix} = \frac{21 - C_{O_2,mix}}{21 - C_{O_2,meas}} C_{i,meas} \quad (3)$$

محدودیت های قانونی تا زمانی حفظ می شوند که $C_{i@O_2,mix} \leq EL_{i,mix}$ برقرار باشد.

محدودیت های انتشار و تولید گازهای گلخانه ای اندازه گیری شده به کسر اتلاف انرژی از جمله سوخت کمکی برای حفظ سوزاندن پسماند- به کل تامین انرژی حاصل مرتبط می شوند که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\xi_w = \frac{(\dot{m}_w H_{u,w} + \dot{m}_{aux} H_{u,aux})}{(\dot{m}_w H_{u,w} + \dot{m}_{aux} H_{u,aux}) + \dot{m}_{bf} H_{u,bf}} \quad (4)$$

جایی که

\dot{m}_w میزان تغذیه پسماند، کیلوگرم / ساعت

\dot{m}_{aux} میزان تغذیه سوخت کمکی برای پایداری احتراق پسماند در شرایط تک احتراق، کیلوگرم / ساعت

\dot{m}_{bf} میزان تغذیه سوخت پایه، کیلوگرم / ساعت

$H_{u,w}$, $H_{u,aux}$, $H_{u,bf}$ مقادیر گرمایی پایین تر پسماند، سوخت کمکی و سوخت پایه، به ترتیب، برای شرایط

خام، MJ/kg

تعریف سوخت کمکی در استانداردها مبهم است، و اگر چه این ممکن است یک مسئله مهم برای استفاده از

استانداردها باشد، برای مقایسه کنونی مورد نیاز نیست و در اینجا \dot{m}_{aux} برابر با صفر است.

استاندارد اتحادیه اروپا در شکل ۵-۸ به طور یکنواخت از شرایط نیروگاه به شرایط سوخته های پسماند حرکت می

کند. استاندارد آلمان این انتقال را در قالب یک پرش در پسماند ۲۵٪ انجام می دهد. تولید گازهای گلخانه ای از دو

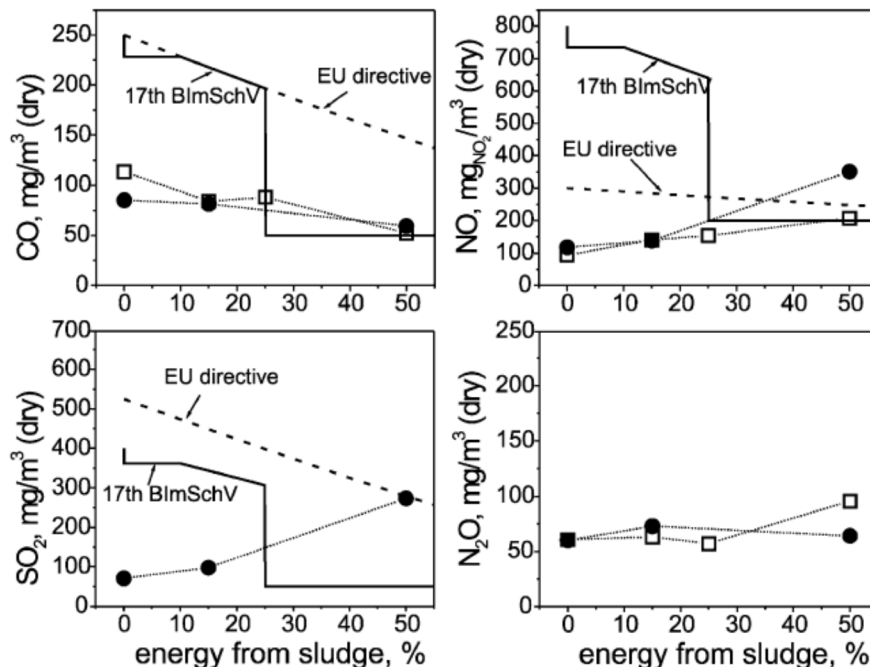
دستگاه آزمون، مشابه هستند و تغییرات تدریجی ناشی از اضافه نمودن لجن را نشان می دهد. به طور کلی، تولید گازهای گلخانه ای کمتر از استانداردهای انتشار برای کسری لجن کمتر از ۲۵٪ است که یک نتیجه قابل قبول است، زیرا می توان فرض کرد که تنها کسرهای جزئی از سوخت اضافی مورد علاقه عملی است. چند اظهار نظر را می توان ارائه داد

† حد انتشار برای مقادیر پایین تر از لجن ۲۵٪ در مورد انتشار SO_2 در طول احتراق همزمان لجن و چوب فراتر رفته است. اولاً، به نظر می رسد گرفت گوگرد توسط سنگ آهک برای سوخت با فراریت بالا از کمتر از زغال سنگ باشد. در مرحله دوم، و جدی تر، حد انتشار اتحادیه اروپا برای انتشار SO_2 از سوخت های زیستی بسیار کمتر از زغال سنگ است، و محدود کردن انتشار ممکن است بیش از حد شود حتی اگر گرفت گوگرد توسط اضافه کردن آهک بیشتر افزایش یابد

† هیچ محدودیت انتشاری برای N_2O وجود ندارد. با این حال، یک گاز N_2O در سطح جهانی آلاینده است، و تلاش هایی باید برای کاهش انتشار آن صورت گیرد. خوشبختانه، انتشار N_2O از احتراق لجن زیاد نیست.

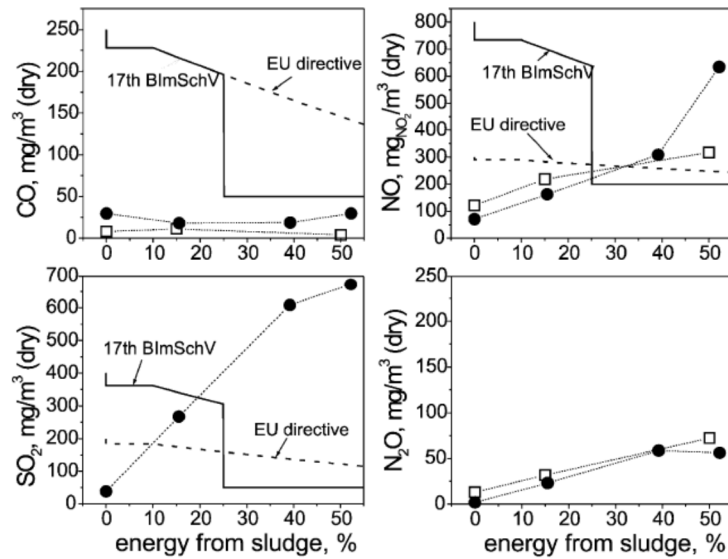
† تولید گازهای گلخانه ای از لجن مرطوب شبیه به لجن خشک شده است، به استثنای یک انتشار افزایش جزئی از

. N_2O



شکل ۵. انتشار از احتراق همزمان خشک لجن فاضلاب A با ذغال سنگ. مقایسه بین دستگاه های

(●, CTH and □, TUHH) و با محدودیت های قانونی.

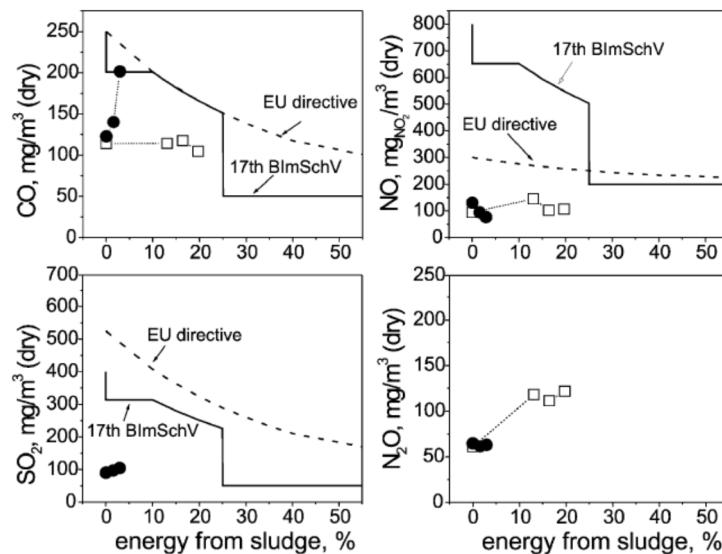


شکل ۶. انتشار از احتراق همزمان لجن فاضلاب خشک شده A با چوب. مقایسه بین دستگاه های

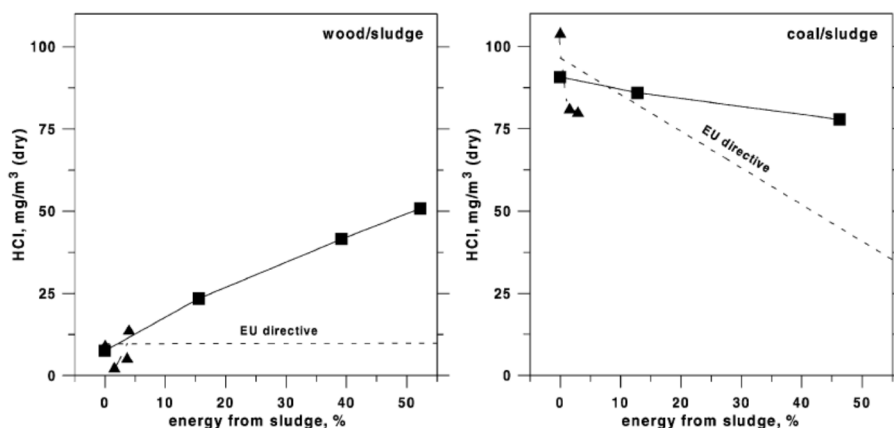
(●, CTH and □, TUHH) و با محدودیت های قانونی. طبقه بندی پیشرفته. داده های اندازه گیری در سطوح

اکسیژن مورد نیاز توسط اتحادیه اروپا قرار گرفته است. نقاط متناظر با توجه به استانداردهای آلمان تنها کمی

تفاوت دارند.



شکل ۷. انتشار از احتراق همزمان لجن فاضلاب مرطوب B و C با ذغال سنگ. مقایسه بین دستگاه های (●, CTH and □, TUHH) با محدودیت های قانونی. طبقه بندی پیشرفته. داده های اندازه گیری در سطوح اکسیژن مورد نیاز توسط اتحادیه اروپا قرار گرفته اند. نقاط متناظر با توجه به استانداردهای آلمان تنها کمی متفاوت هستند.



شکل ۸. انتشارات HCl از احتراق همزمان لجن مرطوب (▲, C) یا خشک (■, A) با چوب یا زغال سنگ در دیگ بخار CTH

انتشار کلر به شکل کلرید هیدروژن می شود. انتشارات گازهای گلخانه ای اندازه گیری شده از دیگ بخار CTH در شکل ۸ نشان داده شده است. آنها منعکس کننده محتوای کلر از سوخت ها (جدول ۱) هستند. جذب با استفاده از مؤلفه های قلیایی در خاکستر یا توسط سنگ آهک اثر برجسته ای ندارد. مقدار آن در مقایسه با مرزهای خطای داده ها (غلظت کلر فقط با یک رقم قابل توجه در جدول ۱. داده شده است) کوچک است. استاندارد اتحادیه اروپا برای تک احتراق پسماند $10 \text{ mg} / \text{m}^3$ میباشد، در حالی که در حال حاضر هیچ استاندارد مشخصی برای یک نیروگاه برق تک احتراقی در بسیاری از کشورها وجود ندارد: مقداری که در واقع برای سوخت منظم اندازه گیری می شود، به عنوان مثال زغال سنگ، گاهی اوقات استفاده می شود. با استفاده از معادله (۱) با مقدار اندازه گیری شده برای تک احتراق و $10 \text{ mg} / \text{M}^3$ برای پسماندها، از شکل ۸ آشکار می شود که احتراق همزمان با لجن (و یا دیگر سوخت پسماند حاوی کلر) بدون برخورد با گاز به سختی امکان پذیر است. با این حال، در آلمان، یک طرح برای معرفی یک

استثنا در قانون فعلی برای محفظه احتراق بستر سیال با یک مقدار محدود از ۱۰۰ میلی گرم بر نیوتن مترمربع هیدروکلراید مستقل از کسر انرژی پسماند وجود دارد.

5. مقایسه با یک کارخانه تجاری

با توجه به قابلیت کاربرد این نتایج برای یک کارخانه تجاری، باید تاکید کرد که قوانین تشابه تقریبی [۲]، به کار گرفته شدند و در واقع، شکل ۵-۷ نشان می دهد که انتشارات گازهای گلخانه ای از دو کارخانه کاملاً مشابه هستند. عرض متفاوت از محفظه های احتراق ممکن است برخی از تاثیرات را بر ترکیب سوخت و هوا داشته باشند همانطور که قبلاً نشان داده شده است که در آن یک تفاوت عمده در مشخصات غلظت از مخلوط کردن افقی هوای ثانویه در بالابرنده رخ می دهد. این ویژگی در آزمون های حاضر اجتناب می شود که در آن هوا از پایین بالابرنده ها و در جریان به شدت چرخش پایین دست سیکلون معرفی ایجاد می شود.

برای شرایط سوخت و عملیات مشابه، زمان اقامت گاز یک پارامتر مهم باقی مانده است. بنابراین، زمان های اقامت گاز دو دستگاه با یکدیگر در جدول ۳ و همچنین با یک دیگ بخار CFB بزرگ تجاری مقایسه شده است. با وجود تفاوت زیاد در اندازه (حجم) سه محفظه احتراق، زمان های اقامت گاز در محفظه احتراق (بالابرنده) دارای همان مرتبه دامنه است. تفاوت اصلی بین دستگاه ها در اندازه سیکلون است. به دلیل مقطع بزرگ کوره، سیکلون دیگ بخار تجاری در مقایسه با سیکلون محفظه احتراق آزمایشگاهی باریک بسیار بزرگ است. با این حال، اتاق های پس-مشعل واقع در پایین دست سیکلون ها، زمان اقامت مورد نیاز را برای ساخت دستگاه های کوچکتر شبیه به دستگاه بزرگتر فراهم می کنند. توسط اندازه گیری ها تایید شد که در این پس-مشعل ها، یک احتراق قابل توجه، از جمله تشکیل و تخریب آلاینده وجود دارد. در مجموع، حداقل زمان اقامت گاز در قسمت درجه حرارت بالای محفظه های احتراق (۸۰۰-۹۰۰ درجه) در حدود ۴-۶ ثانیه (جدول ۳) است. اگر چه تأیید نشده است که پیشرفت احتراق در فضای تقریباً بدون ذرات پس-مشعل، قابل مقایسه با این مورد در سیکلون است، به احتمال زیاد این مورد برقرار است، به دلیل اینکه گازها و ذرات از یکدیگر در داخل سیکلون جدا می شوند و فعل و انفعال نباید به طور عمده

واکنش های فاز گاز را تحت تاثیر قرار دهد. در نتیجه، این باور منطقی است که نتایج بدست آمده از دو محفظه احتراق استفاده شده، نیز نماینده تجهیزات در مقیاس بزرگ هستند.

گرفتن گوگرد رو به کاهش با افزایش کسر لجن و در طول احتراق همزمان با چوب، که در شکل ۷-۵ دیده می شود، شبیه به آن چیزی است که قبلاً با سوخت های دارای فراریت بالا مشاهده شده است. در مورد احتراق همزمان با لجن، بازده گرفتن گوگرد را می توان توسط رقابت فسفر با دی اکسید گوگرد برای اکسید کلسیم کاهش داد که به جای سولفات کلسیم، موجب تشکیل فسفات می شود.

6. خلاصه نتایج و نتیجه گیری

لجن فاضلاب خشک شده را می توان همراه با سوخت های پایه بدون هر گونه مشکلات فنی به کار گرفت، اما اگر محتوای رطوبت بیش از ۱۰٪ لجن باشد، ذخیره برای دوره های طولانی تر به دلیل بو و فعالیت بیولوژیکی که درجه حرارت را افزایش می دهد و ارزش گرمایی را کاهش می دهد، دشوار است. احتراق همزمان با لجن خشک شده به خوبی با استفاده از سیستم تغذیه سوخت معمولی جواب داد و با وجود کسری از سوخت اضافه و انرژی تا ۵۰٪، فقط تفاوت های کوچک از عملکرد کلی سوخت پایه مشاهده شد. یک شرط لازم اینست که سیستم حمل و نقل خاکستر کارخانه می تواند افزایش جریان خاکستر ناشی از لجن را دریافت نماید. علاوه بر این، خاکستر بادی از احتراق لجن، چسبنده تر از خاکستر از زغال سنگ و یا چوب است.

با زغال سنگ و چوب به عنوان سوخت های پایه، محدودیت های انتشار آلمان و اتحادیه اروپا برای انتشار CO، NOx، SO2 برای کسری های انرژی از سوخت اضافی، از کمتر از ۲۵٪ تجاوز نمودند. برای تحقق مقررات کران پایین اتحادیه اروپا برای انتشار SO2 از احتراق همزمان با چوب، اضافه نمودن سنگ آهک بالا مورد نیاز است.

رفتار انتشار سوخت پایه، نقش غالبی را ایفا می کند، به ویژه برای بخش انرژی سوخت اضافی کمتر از ۲۵٪.

لجن فاضلاب شامل مقادیر زیادی از نیتروژن می شود و انتشارات بالای NO ممکن است رخ دهند، به خصوص در طی تک احتراق. هرچند کاهش در یک محفظه احتراق CFB نیز بالا است، به خصوص در حضور نیمسوز کردن و

انتشارات گازهای گلخانه‌ای تنها برای کسرهای انرژی پسماند کمتر از ۲۵٪، متوسط می‌باشد؛ تبدیل نیتروژن سوخت به NO تنها چند درصد بود. همچنین تبدیل به N₂O کوچک بود.

مشخص شد که طبقه بندی هوا در CFB، برای کنترل انتشارات گلخانه‌ای از سوخت‌ها با یک محتوا با فرارایت بالا مانند چوب یا لجن مهم نیست. دلیلش این می‌تواند باشد که نیمسوز، نقشی غالب را برای کاهش NO و برای N₂O در محفظه احراق بازی می‌کند و محتوای نیمسوز در بستر در طی احتراق سوخت‌ها با محتوای کم کربن تثبیت شده، کم است. غلظت اکسیژن در بستر بر غلظت نیمسوز تاثیر می‌گذارد، اما با یک غلظت نیمسوز کم در بستر، تغییر در غلظت نیمسوز، نقشی عمده را برای کاهش NO ایفا نمی‌کند.

هر دو سوخت‌های پایه به خوبی عمل می‌کنند. فقط تفاوت‌هایی جزئی شناسایی شده‌اند: (۱) کاهش NO با زغال سنگ از چوب بهتر است، (۲) انتشارات CO با چوب کمتر است، (۳) انتشارات N₂O در مقایسه با زغال چوب کم است، اما انتشار در دو موارد زمانی برابر می‌شوند که مقدار لجن افزایش می‌یابد، و (۴) نقطه ضعف چوب اینست که گرفتن گوگرد با سنگ آهک از انجام این کار با زغال سنگ به عنوان سوخت پایه دارای بازدهی کمتر است. چند آزمایش با لجن مکانیکی آزدایی شده، لجن مرطوب، انجام شد. با توجه به انتشار NO، لجن مرطوب مشابه با لجن خشک شده عمل نمود، اما انتشارات N₂O کمی بالاتر بود.

با توجه به محدودیت‌های ترکیب کردن، سوخت‌ها با فرارایت بالا اغلب موجب غلظت‌های بالایی از گازهای نسوخته در مناطق بالاتری از یک بالابرنده CFB می‌شوند. این مورد حتی در محفظه احراق TUHH تنگ، و نیز در طول احتراق ذغال سنگ وجود داشت و البته این اثر در دیگ بخار CTH گسترده‌تر دیده شده است. هنگامی که گازها وارد سیکلون می‌شوند، مخلوط کردن بهبود یافته است و احتراق گاز افزایش می‌یابد. سوختن در صورتی به دست می‌آید که زمان اقامت گاز کافی باشد. پس از گسترش فضای احتراق با محفظه احراق پس-مشعل، دستگاه‌های کنونی، زمان‌های اقامت گازی را به دست آوردند که در همان مرتبه دیگ بخار CFB تجاری بزرگ بود. پس-مشعل نیز برای اضافه نمودن آخر هوای ثانویه استفاده شد، که این کار با استفاده از روش طبقه بندی پیشرفته صورت گرفت. یک کاهش شدید در غلظت CO (که نشان‌دهنده مواد فرار قابل اشتعال است) پایین دست محفظه احتراق

اصلی وجود داشت. این نیز برای NO مشخص شد، اما حداقل برای ذغال سنگ با اضافه نمودن لجن، به طور غیر منتظره، غلظت N₂O در پس-مشعل افزایش یافت. با این حال، به طور کلی، نتیجه این است که کاهش و سوختن رضایت بخش آلاینده بعد از یک زمان اقامت گاز ۴-۶ ثانیه از ورودی سوخت به دست آمد.

پیشرفت احتراق در دو دستگاه تحقیق کاملاً مشابه است، به خصوص اینکه هوا برای محفظه احتراق از طریق بخش پایین تامین می شود، و هوای ثانویه تنها از پایین دست بالابرنده اضافه می شود که این ترکیب، کاملاً فشرده است (به دلیل چرخش شدید ایجاد شده توسط سیکلون). بنابراین، هیچ، تفاوت های ترکیب ماکروسکوپی مانند موارد مشاهده شده در مورد طبقه بندی طبیعی وجود نداشت، در زمانی که ترکیب تقریباً در راکتور TUHH باریک آنی لحظه ای اما فقط در دیگ بخار CTH تدریجی بود. بیشتر اکسیژن در پایین اتاق های احتراق مصرف می شود، و در نتیجه بسیاری از احتراق در آنجا رخ می دهد. تفاوت های جزئی در پیشرفت احتراق در دو محفظه ی احتراق در سیکلون ها وجود داشت و تولید گازهای گلخانه ای حاصل تفاوت چندانی نداشتند. تنها تاثیر کمی از اضافه نمودن لجن در شرایط احتراق وجود داشت و در عین حال، یک اثر روشن در غلظت اکسیدهای نیتروژن دیده می شد.

لجن فاضلاب شامل گوگرد، که تا حد زیادی ناشی از تبدیل پروتئین های حاوی گوگرد است، می شود اما برخی ممکن است از عامل رسوب مورد استفاده در فرایند لجن باقی مانده باشند، به خصوص اگر هضم استفاده شده باشد. محتوای گوگرد از لجن فاضلاب در حال حاضر مورد بررسی قرار گرفته، دو برابر زغال سنگ است (جدول ۱). تمیز کردن گوگرد لازم است. در صورت احتراق همزمان با زغال سنگ در CFB، این هیچ مشکلی را ایجاد نمی کند چرا که این دستگاه به احتمال زیاد برای حذف گوگرد توسط سنگ آهک مجهز می شود، و گوگرد اضافی از لجن فقط یک افزایش در تامین گوگرد است که با افزایش حاشیه ای در تغذیه سنگ آهک رفع و رجوع می شود. در دیگ بخار با سوخت چوب، از سوی دیگر، هیچ تجهیزاتی برای حذف گوگرد وجود ندارد، و قبل از احتراق یا توسط نصب تجهیزات تمیز کردن گوگرد، گوگرد باید از لجن حذف شود. گرفتن گوگرد با سنگ آهک، روش کلاسیک در احتراق بستر سیال است. اضافه نمودن آهک هیدراته قبل از فیلتر، روش مناسب دیگری است که هیدروکلراید را می گیرد.

این روش را نیز می توان با چوب / لجن استفاده نمود، اما مشخص شد که این روش برای سوخت ها با زغال سنگ کمی کمتر کارآمدتر است.

پسماندها با مقدار کم و حرارت (مانند، به عنوان مثال، لجن فاضلاب مرطوب) ممکن است نیاز به سوزاندن یک سوخت کمکی داشته باشند. نحوه تصفیه چنین سوخت کمکی با توجه به مقررات انتشار مشخص نیست. در کار حاضر چنین مسائلی را با نشان دادن انتشارات به عنوان یک تابع از کسر انرژی بدون در نظر گرفتن سوخت کمکی اجتناب شده است.

احتراق همزمان که منجر به انتظارات کلر بالاتر از مقررات اتحادیه اروپا (۱۰ میلی گرم / مترمکعب) می شود، صرف نظر از درجه احتراق همزمان، حداقل در بسیاری از کشورهای عضو اتحادیه اروپا، ممکن است به استفاده از برخی از روش های حذف کلر نیاز داشته باشد. حذف کلر را می توان در دیگهای بخار سوخت به دست آورد، که اغلب با دستگاه های تصفیه خاص مانند اسکرابر، و غیره تجهیز می شوند. حتی در دیگهای بخار بستر سیال (و دیگر) با فیلترهای کیسه، می توان کلر را با تزریق آهک هیدراته به سادگی از مسیر گاز دودکش حذف نمود.

References

- [1] Werther J, Ogada T. Sewage sludge combustion. *Prog Energy Combust Sci* 1999;25:55–116.
- [2] Knöbig T, Werther J, Åmand L-E, Leckner B. Comparison of large- and small-scale circulating fluidized bed combustors with respect to pollutant formation and reduction for different fuels. *Fuel* 1998;77: 1635–42.
- [3] Lyngfelt A, Åmand L-E, Leckner B. Reversed air staging—a method for reduction of N₂O emissions from fluidized bed combustion of coal. *Fuel* 1998;77:953–9.
- [4] Leckner B, Karlsson M. Gaseous emissions from circulating fluidized bed combustion of wood. *Biomass Bioenergy* 1993;4:379–89.
- [5] Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste, *Off J Eur Commun* 2000;L 332/91.
- [6] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungsanlagen—13. BImSchV) vom 22.06.1983, *BGBI. I S.* 719.
- [7] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe—17. BImSchV) vom 23.11.1990, *BGBI. I S.* 2545; ber. S. 2832, zuletzt geändert am 23.02.1999, *BGBI. I S.* 186.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی