

آشنایی
با فرآیند تولید و کاربردهای
گاز کربنیک

فصل ۱

- ۵ مقدمه
- ۵ ۱-۱ اهداف پروژه‌های بازیافت گاز کربنیک در ایران
- ۶ ۱-۲ دی‌اکسید کربن (گاز کربنیک) چیست ؟
- ۶ ۱-۳ تاریخچه گاز کربنیک
- ۶ ۱-۴ خواص دی‌اکسید کربن
- ۷ ۱-۵ کاربردهای ویژه
- ۷ ۱-۶ خواص بیولوژیکی
- ۸ ۱-۷ نگهداری گاز کربنیک
- ۸ ۱-۷-۱ به شکل گاز یا مایع با فشار بالا در سیلندرهای تحت فشار
- ۸ ۱-۷-۲ به شکل مایع با فشار متوسط در تانک‌های تحت فشار
- ۸ ۱-۷-۳ به شکل جامد (یخ خشک) در فشار اتمسفر در بسته‌بندی‌های عایق شده
- ۹ ۱-۹ نکات ایمنی
- ۱۰ ۱-۱۰ خاموش کننده گاز کربنیک CO₂
- ۱۱ ۱-۱۱ فناوری بازیافت گاز کربنیک در جهان
- ۱۲ ۱-۱۰-۱ بازیافت گاز کربنیک و ازدیاد برداشت نفت (Enhanced Oil Recovery)
- ۱۲ ۱-۱۰-۲ کاربردهای بازیافت گاز کربنیک در صنعت پتروشیمی :
- ۱۲ ۱-۱۰-۲-۱ اوره
- ۱۲ ۱-۱۰-۲-۲ متانول

فصل ۲

- ۱۳ فرایند تولید گاز کربنیک
- ۱۳ ۲-۱ روش های تولید گاز کربنیک
- ۱۳ ۲-۱-۱ ترکیب گازهای طبیعی با بخار آب
- ۱۳ ۲-۱-۲ احتراق سوخت های فسیلی
- ۱۴ ۲-۲ شیرین کردن گاز طبیعی:
- ۱۴ ۲-۳ واحدهای فرایند تولید گاز کربنیک
- ۱۴ ۲-۳-۱ واحدهای تولید فسفات سدیم:
- ۱۴ ۲-۳-۲ واحدهای تولید آهک:
- ۱۴ ۲-۳-۳ واحدهای تخمیر Fermentation
- ۱۵ ۲-۴ تولید گاز کربنیک به کمک احتراق گاز طبیعی
- ۱۶ ۲-۵ تحلیل فرایند تولید CO₂
- ۱۶ ۲-۵-۱ احتراق
- ۱۸ ۲-۵-۱-۱ با استفاده از آنالیزور دود

- ۲-۵-۱. با قرائت فشار دیگ بخار یا استریپرو یا فشار مکش کمپرسور ۱۹
- ۲-۵-۲. خنک کاری دودی ۲۰
- ۲-۵-۳. جداسازی اکسیدهای گوگرد و ازت توسط کربنات سدیم ۲۱
- ۲-۵-۴. برج جذب ۲۲
- ۲-۴-۱. حلال ۲۲
- ۲-۴-۲. درجه حرارت برج جذب ۲۳
- ۲-۴-۳. تماس دود با آمین ۲۴
- ۲-۵-۵. مبدل آمین در آمین ۲۵
- ۲-۵-۶. پمپ ارسال آمین از برج جذب به برج دفع ۲۶
- ۲-۵-۷. سیستم بازیافت CO₂ از آمین سنگین ۲۶
- ۲-۵-۸. تراکم گاز CO₂ ۲۷
- ۲-۵-۹. مایع کن ۲۷

فصل ۳

- کاربردهای یخ خشک ۲۸
- ۳-۱. از بین بردن فرورفتگی‌ها و آسیب‌های ناشی از تگرگ ۲۸
- ۳-۲. برداشتن کاشی‌های کف: ۲۸
- ۳-۳. نابودکننده‌ی جوندگان: ۲۸
- ۳-۴. داغ زدن: ۲۹
- ۳-۵. پزشکی: ۲۹
- ۳-۶. کند کردن واکنش‌های شیمیایی: ۲۹
- ۳-۷. بی‌اثر کننده‌ی محیط: ۲۹
- ۳-۸. دور کردن پشه‌ها ۲۹
- ۳-۹. صنعت نفت: ۲۹
- ۳-۱۰. بارور کردن ابرها: ۳۰
- ۳-۱۱. استفاده در کپسول‌های آتش‌نشانی: ۳۰
- ۳-۱۲. تولید دود، مه و بخار و حالت معنوی یا رؤیا: ۳۰
- ۳-۱۳. دستگاه جرم‌گیر و رسوب‌زدا: ۳۰
- ۳-۱۴. استفاده از گاز کربنیک در آب پرورش ماهی قزل‌آلا: ۳۰

چکیده

فرآیند تولید گاز کربنیک جهت مصارف صنایع غذایی و صنعتی در این طرح از روش سوختن گازوئیل خواهد بود. این گسسته نفتی در محفظه‌ای به نام ریپویلر با اکسیژن هوا ترکیب می‌شود. گاز حاصل از احتراق پس از ورود در برج شستشو با آب شستشو شده و ذرات کربن و سوخت ناقص و سایر مواد اضافی از آن جدا شده و دمای آن نیز کاهش می‌یابد و سپس وارد برج دیگری می‌شود تا توسط یک محلول قلیایی مانند کربنات سدیم شستشو گردد و گازهای جانبی و مازاد مانند گازهای گوگردی از آن گرفته شود پس از این مرحله حاصل سوخت در برج سوم (جذب) با درجه حرارتی مشخص وارد گشته تا محلول شیمیایی منو اتانول آمین (MEA) با پیوندی ناپایدار جذب آن شود و بعد از عبور از یک مبدل حرارتی و گرم شدن مجدد گاز کربنیک تقریباً خالص در برج چهارم (تفکیک) از محلول شیمیایی فوق جدا شده و به دستگاه‌های خنک‌کننده انتقال یابد. پس از این مرحله گاز خنک شده را از یک برج حاوی پرمنگنات پتاسیم عبور می‌دهد تا اگر باقیمانده‌ای از گازهای مازاد گوگردی همراه داشته باشد در این برج از دست بدهد و درجه خلوص آن افزایش یابد. بعد از مرحله مذکور و انجام اکسیداسیون گاز خالص شده را از تانک‌های خشک‌کن دارای سیلی کامل عبور می‌دهند تا بخار آب موجود در گاز جدا و سپس جهت زدودن بوی نامطبوع آن را به تانک زغال اکتیو هدایت می‌کنند. در آخرین مرحله گاز کربنیک خالص با درجه خلوصی حدود ۹۹/۸٪ توسط سیستم برودتی که با فریون ۲۲ تغذیه می‌شود در حرارتی معادل ۴۰ درجه سانتی‌گراد زیر صفر و تحت فشاری معین تبدیل به مایع و از آنجا به تانک‌های ذخیره منتقل می‌گردد.

فصل اول

مقدمه

تولید اصولی گاز کربنیک ، بیش از آن که به سرمایه گذاری و تجربه وابسته باشد ، به دانش تئوریک متکی است. فرایندهای پیچیده این صنعت ، آن را به یک پالایشگاه کوچک تبدیل کرده است که بدون دانایی گسترده در زمینه های مختلف ، راهبری درست آن عملی نیست. در شکل ۱-۱ نمایی از کارخانه تولید گاز کربنیک در شهرکرد را مشاهده می کنید.



شکل ۱-۱. کارخانه گاز کربنیک شهرکرد

۱-۱. اهداف پروژه های بازیافت گاز کربنیک در ایران

- کاهش و نهایتاً حذف مصرف میلیون ها مترمکعب گاز طبیعی که در حال حاضر برای تولید گاز کربنیک

مورد نیاز کشور در بخش‌های صنعتی مختلف مصرف می‌شود.

- حفاظت از محیط‌زیست و کاهش انتشار CO_2 در راستای پیمان کیوتو
- پیوست ایران به جمع کشورهای صاحب فناوری بازیافت گاز کربنیک و تزریق آن به چاه‌های نفت ، و استفاده از کمک‌های بین‌المللی به واسطه فعالیت در زمینه کاهش تخلیه گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر کره زمین
- توسعه فناوری بومی برای طراحی و ساخت ماشین‌آلات بازیافت گاز کربنیک با ظرفیت بزرگ برای رفع نیازهای داخلی و نیز صدور فناوری
- افزایش تولید کود اوره و متانول در واحدهای پتروشیمی

۲-۱. دی‌اکسید کربن (گاز کربنیک) چیست ؟

دی‌اکسید کربن یکی از گازهای موجود در اتمسفر می‌باشد. این گاز از سوختن مواد آلی در حضور اکسیژن کافی ایجاد می‌شود و گازی بی‌رنگ و بی‌بو می‌باشد. گیاهان از دی‌اکسید کربن در فرایند فتوسنتز برای ساختن کربوهیدرات‌ها استفاده می‌کنند و با جذب آن ، اکسیژن آزاد می‌کنند. CO_2 موجود در اتمسفر به عنوان سپر حرارتی زمین عمل می‌کند و با اثر گلخانه‌ای طبیعی مانع از سرد شدن زمین می‌شود. البته غلظت‌های بالای دی‌اکسید کربن در جو ، که از سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود، به عنوان آلاینده جوی بشمار می‌رود.

۳-۱. تاریخچه گاز کربنیک

CO_2 اولین بار توسط شیمیدانی به نام جان با تبسیت وان هلمونت در قرن هفده شرح داده شد. این شیمیدان ، موقع سوزاندن زغال چوب در محفظه بسته‌ای ، متوجه شد که جرم خاکستر به دست آمده ، مقداری کمتر از جرم زغال چوب اولیه می‌باشد. بنابراین به زبان ساده توضیح داد که مقداری زغال چوب در اثر سوختن به جسمی نامرئی یا گاز تبدیل شده است.

۴-۱. خواص دی‌اکسید کربن

دی‌اکسید کربن گازی بی‌رنگ می‌باشد که تنفس آن در غلظت‌های بالا باعث ایجاد مزه ترش در دهان و احساس سوزش در بینی و گلو می‌شود (عمل خطرناکی که در آن احتمال خفه شدن شخص بالاست). این اثر ناشی از حل شدن دی‌اکسید کربن در بزاق دهان و تولید محلول اسیدی ضعیفی به نام اسید کربنیک می‌باشد.

مولکول دی اکسید کربن خطی و دارای دو پیوند دوگانه بین کربن و دو اتم اکسیژن می باشد. ماده ای غیر قطبی می باشد و در دمای پایین تر از -78°C درجه سانتی گراد متراکم شده و جسم سفیدرنگ جامدی به نام یخ خشک ایجاد می کند. دی اکسید کربن مایع فقط تحت فشار خاصی تشکیل می شود. به میزان کمی در آب حل می شود و اسید ضعیف اسید کربنیک تولید می کند که آن هم به طور جزئی به بی کربنات و کربنات تفکیک می شود.

۵-۱. کاربردهای ویژه

CO_2 مایع و جامد در صنایع غذایی به عنوان سرما ساز استفاده می شود. به عنوان مثال در حمل و نقل بستنی و سایر مواد غذایی منجمد برای ایجاد سرما از یخ خشک استفاده می کنند. یکی از کاربردهای مهم CO_2 استفاده در صنایع نوشابه های گازدار می باشد. بکینگ پودرها و جوش شیرین مورد استفاده در پخت نان یا کیک در اثر حرارت CO_2 آزاد می کنند که این امر باعث پف کردن و متخلخل شدن نان می شود. به دلیل خاموش کردن آتش و غیر اشتعال بودن در کپسول های آتش نشانی به عنوان یک آتش خاموش کن ارزان و سریع از CO_2 مایع فشرده استفاده می شود.

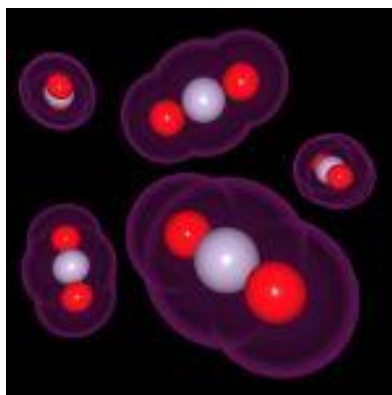
برای کم کردن واکنش پذیری استیلن در حمل و نقل به عنوان گاز بی اثر در کپسول های جوشکاری می توان از CO_2 استفاده کرد، چون نسبت به سایر گازهای بی اثر مثل هلیوم و آرگون ارزان تر می باشد. CO_2 حلال خوبی برای اکثر ترکیبات می باشد. به این دلیل در صنایع داروسازی توجه زیادی به CO_2 معطوف شده است تا به عنوان حلال کمتر سمی جایگزین حلال های آلی کلردار شود.

در صحنه های نمایش از یخ خشک برای ایجاد مه و دود استفاده می کنند. با افزودن یخ خشک به آب، بخاری حاوی CO_2 و رطوبت ایجاد می شود که شبیه مه به نظر می آید. لیزرهای جزو لیزرهای CO_2 مهم صنعتی می باشند.

۶-۱. خواص بیولوژیکی

CO_2 از سوختن چربی ها و قند در حضور اکسیژن طی فرایند تنفس سلولی در بدن جانداران تولید می شود. در جانوران بزرگ CO_2 از تمام بافت ها به وسیله خون جمع شده وارد شش ها شده و از آنجا با عمل بازدم بیرون داده می شود. مقدار CO_2 در هوای دم یک درصد و در هوای بازدم ۴٫۵ درصد می باشد، تنفس مقدار زیادی از آن باعث مسمومیت در انسان و سایر جانداران می شود.

هموگلوبین خون می تواند با اکسیژن و CO_2 پیوند ایجاد کند، اگر غلظت CO_2 بالا باشد، هموگلوبین ها با CO_2 اشباع می شوند و توانایی حمل اکسیژن را ندارند. به همین علت است که در مکان های با تهویه ناکافی، فرد دچار مشکلات تنفسی به دلیل انباشته شدن CO_2 می شود.



شکل ۱-۲. کربن دی اکسید

۷-۱. نگهداری گاز کربنیک

گاز کربنیک به ۳ شکل نگهداری و جابجا می شود.

۱-۷-۱. به شکل گاز یا مایع با فشار بالا در سیلندرهایی تحت فشار

در این حالت فشار گاز بستگی به درجه حرارت سیلندر دارد. البته تا وقتی که درجه حرارت سیلندر کمتر از ۳۱ درجه سانتی گراد می باشد، فشار آن مستقل از مقدار گازی است که در سیلندر شارژ شده است. در صورتی که درجه حرارت سیلندر بالاتر از ۳۱ درجه سانتی گراد باشد، فشار آن تابعی از حجم سیلندر وزن گاز موجود در آن خواهد بود. بنابراین بسیار مهم است که هر سیلندر به میزان استاندارد شارژ شود. فشار سیلندر می تواند از ۵۰ تا ۱۵۰ متغیر باشد.

۱-۷-۲. به شکل مایع با فشار متوسط در تانک های تحت فشار

فشار نگهداری CO₂ در شکل مایع معمولاً بین ۱۲ تا ۲۰ بار و نقطه بهینه آن ۱۵ بار می باشد. از آنجاکه با بالا رفتن فشار CO₂ مایع که در اثر افزایش دما اتفاق می افتد، دانسته گاز مایع کم می شود یعنی اینکه حجم مایع CO₂ افزایش می یابد، بنابراین در مخازن ذخیره CO₂ مایع، همواره باید حجمی از مخزن را برای انبساط حجمی مایع CO₂ در نظر گرفت.

۱-۷-۳. به شکل جامد (یخ خشک) در فشار اتمسفر در بسته بندی های عایق شده

با انتخاب نوع بسته بندی و عایق مناسب می توان تصعید CO₂ را به کمتر از ۲ درصد در شبانه روز رساند. هر کیلو گرم

از یخ خشک در تصعید خود تا رسیدن دمای گاز تصعید شده به صفر درجه سانتی‌گراد نیاز به ۱۵۶ کیلوکالری حرارت دارد که از محیط خود جذب می‌نماید. این مقدار سرمازایی تقریباً دو برابر برودتی است که یخ معمولی ایجاد می‌کند. هر کیلوگرم یخ معمولی ۸۰ کیلوکالری سرمازایی در دمای صفر درجه سانتی‌گراد دارد.



شکل ۱-۳. مخزن ذخیره‌سازی

۸-۱. نکات ایمنی

سیلندر گاز CO_2 تحت فشار می‌باشد، باعث خفگی و یخزدگی شدید می‌شود، به هیچ وجه نباید سوراخ و در معرض آتش قرار گیرد. تماس با CO_2 مایع باعث سوختگی شدید کرایوجنیک و همچنین آسیب به ارگان‌های حیاتی می‌گردد، دی‌اکسید کربن نباید تنفس گردد و حتماً در صورت نشتی CO_2 منطقه تا پراکنده شدن گاز خالی بماند. کربن دی‌اکسید باعث آسیب به شش‌ها و ریه و چشم می‌شود. در صورت تنفس طولانی مدت حتماً کمک‌های اولیه نیاز می‌باشد. CO_2 به صورت یخ خشک برای مصارف آزمایشگاهی و صنایع غذایی استفاده می‌شود.

فشار شارژ سیلندر CO_2 ماکزیمم به ۷۰ بار می‌رسد ولی بسته به دمای بالا ممکن است به فشار بالاتر نیز برسد که خطرناک است. البته کلیه کپسول‌های CO_2 دارای شیر سوپاپ دار هستند که در مواقع بحرانی عمل می‌نماید. سیلندر CO_2 در حجم‌های ۵ لیتر ۱۰ لیتر ۲۰ لیتر ۴۰ لیتر ۵۰ لیتر برای مصارف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. گاز CO_2 کربن دی‌اکسید برای کلیه آکواریوم‌هایی که دارای گیاه دریایی می‌باشند نیز استفاده می‌شود. برای استفاده سیلندر گاز کربنیک حتماً از تجهیزات تقلیل فشار استفاده شود و بعد از هر استفاده شیر حتماً بسته شود و همچنین بعد از خالی شدن کپسول مخازن نگهداری CO_2 باید در مکانی خنک و همچنین دارای تهویه مناسب و به‌دور از هرگونه مواد قلیایی و اسید قرار گیرد.

- وقتی از CO_2 مایع و یخ خشک استفاده می‌نمایید حتماً از پوشش کامل و عینک استاندارد استفاده نمایید.
- سیلندرها حتماً باید دارای کلاهک باشد و در محل خود ثابت گردد.
- تجزیه CO_2 ممکن به تولید مقداری مونواکسید کربن بینجامد.

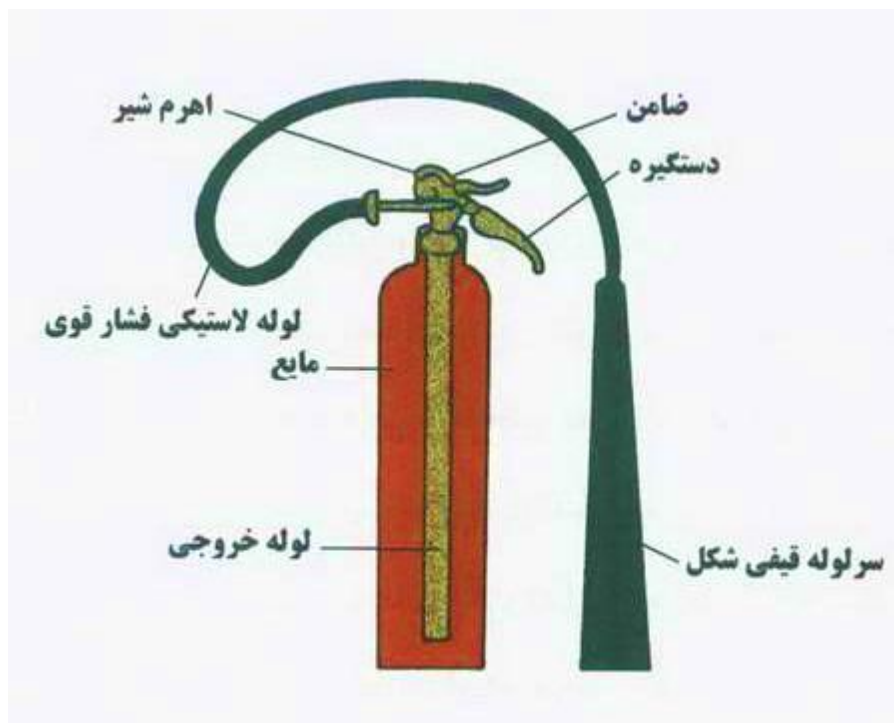
۹-۱. خاموش‌کننده گاز کربنیک CO_2

این خاموش‌کننده محتوی CO_2 که تحت فشار بالا به‌صورت مایع درآمده و در سیلندر قرار دارد. چون بدنه آن فشار زیادی را باید متحمل گردد به همین علت از فولاد و بدون درز ساخته می‌شود. گاز CO_2 از هوا سنگین‌تر و غیرقابل اشتعال است. به همین خاطر در موقع اطفاء به‌خوبی سطح آتش را پوشانده جانشین اکسیژن و در نتیجه عمل اطفاء به نحو احسن صورت می‌پذیرد.

از این خاموش‌کننده بیشتر در محل‌های بسته و برای اطفاء تأسیسات الکتریکی و دستگاههای کامپیوتری استفاده می‌گردد بدلیل اینکه گاز مزبور در محل مصرف هیچ اثری از خود به جای نمی‌گذارد این خاموش‌کننده ها معمولاً قابل کنترل هستند سر لوله خاموش‌کننده CO_2 به شکل قیفی یا شیپوری است و علت آن نیز این است که از سرعت زیاد گاز به هنگام خروج جلوگیری کرده و به آن اجازه انبساط می‌دهد و ماده اطفایی را به محل مورد نظر هدایت می‌نماید.

اگرچه دی اکسید کربن سمی نیست ولی وقتی به میزان زیاد در فضای بسته برای اطفاء حریق استفاده شود می‌تواند خطرناک باشد چنانچه یک سیلندر حاوی گاز کربنیک در یک محل بدون تهویه استفاده شود میزان اکسیژن را تقلیل می‌دهد و هر شخصی در آن محل باشد دچار بیهوشی یا حتی مرگ در اثر فقدان اکسیژن خواهد شد. بعلاوه ایجاد مه ناشی از CO_2 می‌تواند باعث کاهش دید و خطای ناشی از این امر گردد. چنانچه به هر علتی فشار داخل سیلندر افزایش یابد سوپاپ ایمنی که بر روی PSI ۲۷۱۱ تنظیم شده است عمل کرده و فشار اضافی تخلیه می‌گردد به همین خاطر نباید این سیلندر در زیر تابش مستقیم خورشید و یا در مجاورت دستگاه‌های حرارتی قرار گیرد.

بدنه این خاموش کننده باید قادر باشد فشاری معادل با ۷۱۱۱ PSI را تحمل نماید جهت کار با خاموش کننده ابتدا دسته حمل را در دست گرفته و پین ضامن را خارج کرده و دسته تخلیه را فشار می دهیم و باید مراقب بود که اعضای بدنه با شیپور تخلیه کننده تماسی پیدا نکند.



شکل ۱-۴. کپسول حاوی دی اکسید کربن

۱-۱۰. فناوری بازیافت گاز کربنیک در جهان

به طور عمده دو شرکت مهم در دنیا در زمینه تکنولوژی بازیافت گاز کربنیک فعالیت می کنند. شرکت فلور دانیل در آمریکا و میتسوبیshi ژاپن صاحب فناوری در این زمینه می باشند. به طور عمده پروژ های بازیافت با دو رویکرد عمده، شکل می گیرد که یکی از آنها ازدیاد برداشت نفت (EOR) و دیگری افزایش تولیدات پتروشیمی نظیر اوره و متانول می باشد.

الف) ازدیاد برداشت نفت

ب) پتروشیمی: افزایش راندمان تولید اوره و متانول

۱-۱۰-۱. بازیافت گاز کربنیک و ازدیاد برداشت نفت (Enhanced Oil Recovery)

ازدیاد برداشت نفت از طریق تزریق CO_2 ، تکنولوژی جدید اما کاملاً شناخته شده ای است که در ایالات متحده آمریکا به طور گسترده ای استفاده می شود. شبکه ای با بیش از ۳۵۰۰ کیلومتر لوله های حاوی CO_2 با فشار در حدود ۲۰۰ بار، حجم عظیمی از گاز کربنیک بالغ بر ۴۵ میلیون متر مکعب در روز را انتقال می دهد و با تزریق آن به چاه های نفت بیش از ۱۷۰۰۰۰ بشکه نفت در روز تولید میشود. در ایالت Saskatchewan کانادا شرکت برای تزریق سالیانه ۱۸ میلیون تن CO_2 با برداشت کلی حدود ۱۳۰ میلیون بشکه نفت فعالیت می کند که باعث افزایش طول عمر چاه نفت در حدود ۲۵ سال می گردد.

۱-۱۰-۲. کاربردهای بازیافت گاز کربنیک در صنعت پتروشیمی :

- اوره
- متانول

۱-۱۰-۲-۱. اوره

اوره از واکنش شیمیایی میان دی اکسید کربن و آمونیاک تولید می شود. به طور معمول میزان CO_2 مورد نیاز واکنش که از واحد ریفرمر تأمین می شود، جهت واکنش ۱۰۰ درصد با آمونیاک کافی نیست، (میزان کمبود گاز کربنیک حدوداً ۱۰ درصد می باشد) که با فناوری بازیافت گاز کربنیک از دودکش بویلر بخار می توان کمبود CO_2 را جبران کرده و راندمان تولید اوره را به نحو چشمگیری (۵ تا ۱۰ درصد) افزایش داد. پروژه های متنوعی توسط شرکت میتسوبیشی ژاپن انجام گرفته است.

۱-۱۰-۲-۲. متانول

بزرگترین مصرف متانول در تولید سایر مواد شیمیایی است. متانول همچنین به عنوان سوخت مورد استفاده دارد. در حال حاضر توجه ویژه ای به تولید متانول با استفاده از بازیافت CO_2 در کشورهای مختلف چون ژاپن، چین، استرالیا و آمریکا شده است. متانول از واکنش میان هیدروژن و گاز کربنیک حاصل می شود. مازاد هیدروژن حاصل از واحد ریفرمر، می تواند با بازیافت گاز کربنیک میزان تولید متانول را افزایش دهد.

فصل دوم

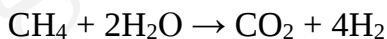
فرایند تولید گاز کربنیک

۱-۲. روش های تولید گاز کربنیک

امروزه دی اکسید کربن جهت مصارف صنعتی به روش های گوناگونی تولید می شود که مهمترین آن ها عبارتند از:

۱-۱-۲. ترکیب گازهای طبیعی با بخار آب

گازهای طبیعی (نظیر متان) با بخار آب در حضور کاتالیزور مناسب واکنش می دهد که محصول آن گاز کربنیک و گاز هیدروژن می باشد.



از این روش غالباً در واحد های تولید اوره و یا هیدروژناسیون محصولات نفتی و پتروشیمی استفاده می شود.

۲-۱-۲. احتراق سوخت های فسیلی

احتراق سوخت های فسیلی نظیر گازهای طبیعی، نفت، گازوئیل، زغال سنگ و... یکی از منابع اصلی تولید گاز کربنیک می باشد. در شرکت گاز کربنیک شهرکرد از بدو احداث برای تولید CO_2 از گازوئیل به عنوان ماده ی سوختنی استفاده می شد ولی از سال ۱۳۷۳ به لحاظ مسائل فنی اقتصادی و ملی تصمیم به تعیض سوخت گردید و از آن تاریخ به بعد از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده گردیده است.

۲-۲. شیرین کردن گاز طبیعی:

گاز طبیعی استخراج شده از چاه های نفتی غالباً حاوی ترکیباتی ناخواسته نظیر CO_2 ، H_2S و هیدروکربن های سنگین C_5+ می باشند. در پالایشگاه های گاز با استفاده از حلال های مناسب نظیر MEA، DEA، MADEA و ... با جذب گازهای اسیدی، گاز طبیعی شیرین شده، سپس به کمک مواد جاذب رطوبت، رطوبت گاز گرفته شده تا قابلیت خوردگی و تشکیل آب و یخ در طول مسیر انتقال گاز در خط لوله کاهش یابد. گازهای اسیدی حاصل از فرایند شیرین سازی حاوی مقداری زیادی گاز کربنیک بوده که با روش مناسب (فرایند کلاوس) H_2S از آن جدا شده و گاز کربنیک به مصارف صنعتی می رسد.

۳-۲. واحد های فرایند تولید گاز کربنیک

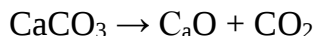
در این بخش به بررسی واحد های تولید گاز کربنیک پرداخته می شود.

۱-۳-۲. واحدهای تولید فسفات سدیم :

در این واحد ها، از کربنات سدیم برای تولید فسفات سدیم استفاده می شود. گاز کربنیک به عنوان یک محصول جانبی از این واحد جداسازی شده و برای استفاده در سایر صنایع پالایش می شود.

۲-۳-۲. واحد های تولید آهک :

آهک (CaO) غالباً از گرم کردن و پخت (تکلیس) سنگ آهن به دست می آید.



گاز خارج شده از بالای کوره گخت حاوی حدود ۳۰ درصد گاز کربنیک بوده که بعد از عبور از فیلتر و سیکلون و برج شستشو به کمک حلال مناسب، دی اکسید کربن آن جداسازی شده و بعد از پالایش، CO_2 آن برای مصرف در سایر صنایع مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۳-۲. Fermentation واحد های تبخیر

بسیاری از مواد گیاهی نظیر ملاس چغندر، جو، درت و ... در اثر تخمیر مقدار زیادی گاز کربنیک متصاعد می کنند که

بعد از شستشو عبور از برج های پالایش قابل بهره برداری می باشد.

۴-۲. تولید گاز کربنیک به کمک احتراق گاز طبیعی

در شرکت گاز کربنیک شهرکرد و شرکت های تابع آن برای تولید گاز کربنیک، از روش احتراق گاز طبیعی استفاده می شود. گاز طبیعی که عمدتاً از هیدروکربورهای اشباع شده خطی نظیر متان، اتان، پروپان و ... همراه با بعضی از ترکیبات دیگر تشکیل شده است، در مشعل و به کمک هوا سوزانده شده و دود حاصل از آن حائی H_2O ، CO_2 ، N_2 و ... می باشد. دود حاصل از احتراق، با ذمای نسبتاً بالا (بیش از ۲۵۰) به برج شستشو ارسال می شود. در اثر تماس مستقیم دود با آب، ضمن کاهش ذمای آن، بخشی از ناخالصی های موجود در دود نظیر دوده و اکسید های ازت، گوگرد و ... توسط آب جذب می شود ولی در هر حال مهمترین کار این برج، کاهش ذمای دود می باشد.

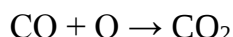
برای جداسازی اکسیدهای گوگرد نظیر SO_2 و SO_3 و بعضی از اکسید های ازت دود با ذمای نزدیک به ۴۰ درجه به برج سودااش ارسال می گردد تا ناخالصی های فوق از دود جدا گردد.

برای جداسازی گاز کربنیک از محصول احتراق، دود به برج جذب ارسال می گردد. با استفاده از حلال مناسب گاز کربنیک به روش جذب فیزیکی و شیمیایی از دود جدا شده و باقیمانده گاز ها که عمدتاً ازت و دی اکسید کربن جذب نشده و بخار آب می باشند، از بالای برج جذب به اتمسفر ارسال می گردد. گاز کربنیک جذب شده در حلال برای بازیافت CO_2 از آن به برج دفع (STRIPPER) ارسال می گردد. جداسازی CO_2 از آمین به کمک گرما صورت می گیرد، بر همین اساس حلال حاوی CO_2 که اصطلاحاً آمین سنگین یا غنی که (Rich Solution) نامیده می شود و قبل از ورود به بالای برج دفع، در یک مبدل حرارتی MEAXME تبادل حرارتی انجام داده و ضمن کاهش ذمای حلال سبک، ذمای حلال سنگین افزایش می یابد. حلال سنگین از بالای برج دفع که یک برج پر شده با پرکننده ها می باشد به داخل آن ریخته می شود. در عوض در اثر جذب حرارت از دود (واحدهای شهرکرد و بن) و یا بخار آب (واحدهای فیروزکوه و لوشان) مقداری از محلول آمین در پیش جوشانده (Reboiler) گرم شده و مخلوطی از بخار آب و بخار آمین تولید می گردد که در یک جریان غیر همسو با آمین سنگین موجب جداسازی CO_2 از آمین می گردد. این فرایند اصطلاحاً عاری سازی (Stripping) نامیده می شود.

گاز کربنیک همراه با مقداری بخار آب و آمین از بالای برج خارج شده و در یک مبدل حرارتی که با هوا خنک می شود، سرد شده و بخشی از بخار آب و حلال آن مایع می گردد. مخلوط مایع شده با عنوان Reflux به قسمت میانی برج Stripper برگشت داده می شود. گاز کربنیک بعد از عبور از یک مبدل حرارتی که با آب خنک می شود برای تراکم به قسمت مکش کمپرسور فرستاده می شود. در این مسیر یک تله آبیگیر قرار داده می شود تا مانع از ورود میعانات بخار آب و آمین به داخل کمپرسور گردد.

بر حسب فشار استیریپر و تانک ذخیره گاز کربنیک، کمپرسور می تواند به صورت یک مرحله ای یا دو مرحله ای باشد. بعد از تراکم تا فشار مورد نیاز که عموماً حدود ۱۵ بار است، گاز کربنیک در یک مبدل حرارتی خنک شده و به برج پرمگنات ارسال می گردد.

در برج پرمگنات، مونواکسید کربن (CO) حاصل از احتراق ناقص سوخت با اکسیژن تولید شده توسط پرمگنات ترکیب شده و به گاز کربنیک تبدیل می شود.



گاز کربنیک قبل از ارسال به سیستم مایع کن از درون اکونومایزر و خشک کن (Dryer) عبور کرده و رطوبت موجود در آن به مقدار زیادی جدا میگردد تا نقطه ی شبنم آن کمتر از ۵۰- درجه سانتی گراد برسد. گاز خشک جهت میعان به کندانسور فرستاده می شود تا به کمک مایع آمونیاک و تبخیر آن، به صورت مایع در بیاید. دی اکسید کربن در حالت مایع جهت ذخیره سازی و یا ارسال به تانک های ذخیره و یا حمل فرستاده می شود.



شکل ۱-۲. یخ خشک

۵-۲. تحلیل فرایند تولید CO₂

۱-۵-۲. احتراق

تولید گاز کربنیک در این واحد بر اساس احتراق گاز طبیعی صورت می گیرد. گاز طبیعی، مخلوطی از چند هیدروکربن های اشباع شده خطی نظیر متان، اتان، پروپان و تعدادی از ترکیبات دیگر می باشد. برای احتراق لازم است که مثلث احتراق شامل ماده سوختنی، ماده سوزاننده و حرارت مهیا گردد.

اکسیژن مورد نیاز جهت احتراق توسط یک دمنده هوا (Blower) تامین می گردد. هوا و گاز قبل از احتراق باید به طرز مناسبی مخلوط گردیده تا عمل احتراق به طرز مناسبی صورت پذیرد. احتراق مناسب یا استوکیومتریکی به احتراقی گفته می شود که دارای ویژگی های زیر باشد :

- تمامی کربن موجود در سوخت به CO_2 تبدیل شود
- تمامی هیدروژن موجود در سوخت به بخار آب تبدیل شود
- تمامی گوگرد موجود در سوخت به SO_3 تبدیل گردد
- در دود خروجی هیچ گونه سخت وجود نداشته باشد
- دود خروجی فاقد اکسیژن باشد

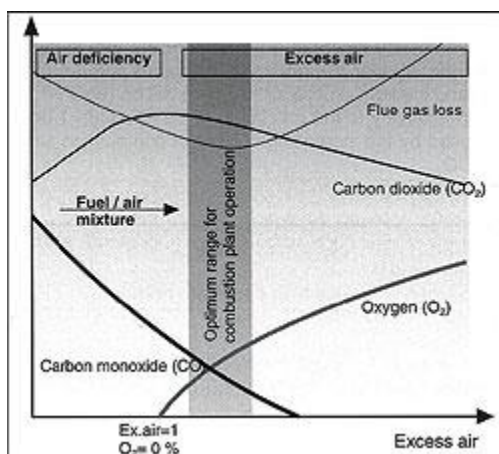


شکل ۲-۲. بلوئر Blower

هنگامی که احتراق به صورت کامل صورت می گیرد، درصد دی اکسید کربن در دود خروجی به حداکثر مقدار خود می رسد و دمای دود نیز بیشترین مقدار را دارد. برای دستیابی به بهترین راندمان تولید و کاهش مشکلات جانبی تولید نظیر خوردگی، کف کردن، فساد آمین و ... باید سعی کرد که احتراق به صورت استوکیومتریکی انجام گردد. اگر میزان اکسیژن

برای احتراق در حد کافی نبوده و یا اختلاف هوا با سوخت به طرز مناسب صورت نگیرد، ممکن است بخشی از سوخت به صورت خام از سیستم خارج گردیده که منجر به افزایش سوخت مصرفی بدون دستیابی به تولید مناسب می گردد. افزایش مصرف پرمنگات، کاهش میزان دی اکسید کربن و کاهش دمای دود و حرارت ناشی از آن را می توان از دیگر عوارض کمبود هوای احتراق دانست. در عوض اگر میزان هوا از مقدار استوکیومتریک بیشتر باشد، اصطلاحاً آن را هوای اضافی می نامند. وجود اکسیژن اضافی در درجه اول موجب فاسد شدن آمین خواهد شد که عوارض متعددی نظیر کاهش قدرت جذب، خوردگی، کف کردن و ... را در پی خواهد داشت. البته یکی از محاسن هوای اضافی این است که میزان CO در دود کاهش یافته و احتمال خروج گاز طبیعی به همراه دود عملاً منتفی می گردد.

طراحی مناسب مشعل و اختلاط سوخت با هوا و پیشگرم هوا می تواند در دستیابی به احتراق مطلوب تاثیرگذار باشد.



شکل ۲-۳. درصد گازهای دود بر حسب میزان هوای اضافی

بر این اساس احتراق را باید مهمترین اصل در تولید گاز کربنیک دانست. در مشعل هایی که بر اساس سایر موارد نظیر تولید بخار استفاده می شود میزان هوای اضافی برای احتراق گاز طبیعی حدود ۱۰-۳۰ درصد می باشد ولی در احتراق گاز طبیعی گاز کربنیک وجود هوای اضافی به هیچ وجه مجاز نمی باشد. البته این نظر جنبه آرمانی داشته و در عمل باید سعی گردد که میزان اکسیژن در دود کمتر از یک درصد باشد. برای تنظیم میزان سوخت و هوا می توان به روش های زیر اقدام کرد.

۲-۵-۱. با استفاده از آنالیزور دود

در این روش میزان هوا را در حداکثر ممکن توسط دمنده تنظیم کرده و میزان سوخت به تدریج اضافه می شود و همزمان درصد اکسیژن و مونواکسید در دود خروجی اندازه گیری شود. هنگامی که سوخت کم باشد، در دود خروجی اکسیژن مشاهده می شود و در عوض میزان مونواکسید کربن صفر خواهد بود. با افزایش سوخت، مقدار اکسیژن کاهش

یافته و احتمالاً به تدریج حضور مونواکسید کربن در دود ملاحظه می‌شود. افزایش سوخت باید در حدی صورت پذیرد که میزان اکسیژن به صفر برسد. دستیابی به حداقل CO در زمانی که اکسژن حداقل گردید از اهمیت بالایی برخوردار بوده و نشان دهنده ی احتراق مطلوب در مشعل می‌باشد.

۲-۵-۱. با قرائت فشار دیگ بخار یا استریپرو یا فشار مکش کمپرسور

یک روش ساده برای تنظیم نسبت سوخت و هوا، قرائت فشار در نقاط قوت می‌باشد. همانند روش قبلی میزان هوا را در حداکثر ممکن قرار داده و به تدریج میزان سوخت را اضافه کنید. بعد از هر اقدام به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه صبر کرده تا نتیجه آن مشخص گردد. با این اقدام باید فشارسنج ریبویلر به تدریج افزایش نشان دهد. بعد از رسیدن به یک نقطه حداکثری، با افزایش سوخت ابتدا تغییری در فشارسنج های فوق مشاهده نشده و حتی ممکن اسن کاهش نیز بیابد. مقدار سخت را آنقدر کاش دهید تا مجدداً به نقطه حداکثر شدن و یا شروع ثابت ماندن آن برسید. البته گاهی اوقات لازم است که فشار در ریبویلر ثابت نگه داشته شود. در این حالت با تنظیم شیر ورودی کمپرسور می‌توان به این هدف دست یافت که باز کردن شیر کمپرسور برای ثابت نگه داشتن فشار ریبویلر نشانه افزایش تولید و بستن آن بیانگر کاهش تولید می‌باشد. این روش در مقابل روش قبلی از دقت بالایی برخوردار نبوده ولی در هر حال یک روش مناسب و ساده می‌باشد.

زیاد بودن سوخت موجب افزایش مونواکسید کربن، کاهش تولید و کاهش حرارت قابل دسترس و به هدر دادن سوخت بوده و در عوض کم بودن آن موجب فاسد شدن آمینف کاهش تولید (ناشی از کاهش دمای دود) می‌گردد. لذا در یک بیان کلی باید به خاطر داشت که اولین و مهمترین شرط تولید مزلوب با کمترین عوارض جانبی تنظیم نسبت سوخت و احتراق و اختلات مطلوب آن ها می‌باشد.

دود حاصل از احتراق بر حسب کیفیت احتراق و درصد ترکیبات تشکیل دهنده سوخت باید نزدیک به ۱۲ درصد گاز کربنیک داشته باشد. علاوه بر آن حرارت ناشی از احتراق برای جداسازی گاز کربنیک از آمین در برج استریپر و نیز سیستم چیلر آمونیاک کاربرد دارد. همین موارد نشان دهنده ی اهمیت بالای کیفیت احتراق در مشعل خواهد بود.



شکل ۲-۴. کارخانه گاز کربنیک بن

۲-۵-۲. خنک کاری دودی

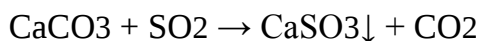
جذب CO_2 در آمین به درجه حرارت دود بستگی داشته و با کاهش دمای دود میزان جذب گاز کربنیک در آمین افزایش می‌یابد. برای کاهش دمای دود از دو مبدل دود در هوا و دود با آب (برج شستشو) استفاده می‌شود. در برج شستشو علاوه بر کاهش درجه حرارت، مقداری از گازهای اسیدی از دود جدا شده و توسط آب شسته می‌شود.



شکل ۲-۵. سیستم خنک کاری

۲-۵-۳. جداسازی اکسیدهای گوگرد و ازت توسط کربنات سدیم

بدیهی است در طی این فرایند دمای آب شستشو میزان آلودگی آن افزایش می‌یابد. تنظیم آلودگی از طریق تخلیه بخشی از آب شستشو که اصطلاحاً زیر آب زنی (Blow Down) نامیده می‌شود، صورت می‌گیرد. برای کاهش دمای آب، از یک مبدل حرارتی آب در آب استفاده می‌شود. دمای دود خروجی باید سازگاری لازم را با دمای آمین ارسالی برای برج جذب داشته باشد که در قسمت برج جذب بدان اشاره خواهد شد. کربنات سدیم، یک ماده قلیایی با فرمول شیمیایی Na_2CO_3 بوده که قادر به جذب اکسیدهای گوگردی و تا حدودی اکسیدهای ازت (NO_x) می‌باشد.



گاز طبیعی همواره حاوی مقدار کمی ترکیبات گوگردی نظیر H_2S می‌باشد که در اثر احتراق به SO_2 و SO_3 تبدیل می‌شود.

این گازها که نظیر گاز کربنیک اسیدی می‌باشند، در برج آمین جذب و مواد بودار کننده آن موجب کاهش کیفیت،

بو طعم گاز کربنیک می گردند به همین خاطر جداسازی آن ها در برج سودا اش ضروری است. میزان سودا اش درون محلول باید در حدی باشد که PH آن در حدود ۸/۵-۱۰ باشد. کیفیت جداسازی اکسیدهای گوگردی به PH محلول، دبی، درجه حرارت و نحوه تماس و نحوه پاشیدن توسط دوش بستگی دارد. با توجه به تشکیل سولفات و سولفیت کلسیم که خاصیت رسوب کنندگی داردف مواد پایین برج سودا اش باید در دوره های زمانی مناسب تخلیه گردیده و برای تنظیم PH در حد فوق ، مقدار کافی سودا اش به برج اضافه گردد.

۲-۵-۴. برج جذب

در برج جذب که برجی پر شده با مواد پرکننده (PACKING) می باشد، دود از قسمت پایین و حلال سبک از قسمت بالا به داخل برج فرستاده می شود. حلال توسط سیستم آب پخش به طور یکنواخت در داخل برج پخش می شود. وظیفه مواد پرکننده افزایش سطح تماس بین CO_2 و آمین بوده تا فرایند جذب به طور مطلوب صورت بگیرد. اساسا برج جذب در فرایند تولید گاز کربنیک نقش بسزایی داشته و بر همین اساس باید اجزا و نحوه کارکردن با آن به طور جامع مورد بررسی قرار بگیرد.

۲-۵-۴-۱. حلال

هر چند که برای جذب CO_2 حلال های مختلفی در صتایعپالایش گاز مورد استفاده قرار می گیرند، ولی به خاطر فشار پایین دود و کم بودن درصد CO_2 در دود ، هرحلالی برای جذب CO_2 مناسب نمی باشد. مونو اتانول آمین (MAE) در محیط های آبی جزء قوی ترین و مناسب ترین حلال برای جذب CO_2 در شرایط سخت می باشند.

غلظت این حلال غالبا بین ۳۰-۸ درصد توصیه می شود. با کاهش غلظت، ابعاد تجهیزات برج جذب، پمپ آمین، مبدل های حرارتی و انرژی مورد نیاز جهت گرم کردن حلال افزایش یافته در عوض ریسک خوردگی در سیستم کاهش می یابد.

در طراحی واحدهای تحت پوشش گاز کربنیک شهرکرد، غلظت مناسب ۲۰-۱۵ درصد پیشنهاد شده است. حضور رادیکال الکل در ساختمان مولکولی MEA باعث می گردد تا این ماده نسبت به اکسیژن حساس بوده و سریعاً به عوامل آلدنیدی، اسیدی و آمونیاک تبدیل شود. اسید تولید شده می تواند باعث بروز خوردگی در قطعات فولادی و حتی استیل شود. علاوه بر آن با انجام واکنش شیمیایی با عامل آمینی حلال ($-NH_2$) قابلیت جذب CO_2 توسط آمین کاهش یافته و عملاً از آن، ماده فاقد قابلیت جذب CO_2 می سازد.

فاسد شدن آمین عموماً با تغییر رنگ آن قابل تشخیص است. در هر حال با توجه به عوارض متعدد فاسد شدن آمین توسط اکسیژن، اکنون می‌توان به حساسیت نسبت به عدم حضور اکسیژن در دود پی برد.

دبی حلال باید در حدی باشد تا ضمن خیس کردن سطوح پرکننده‌ها، تماس مطلوبی بین دود و آمین برقرار کند. در طراحی واحد‌های با ظرفیت ۱۰۰۰ کیلوپرم در ساعت، دبی مطلوب حداقل ۳۵ مترمکعب در ساعت معادل ۲۰ سانتی متر افزایش ارتفاع آمین در برج جذب در هر دقیقه در نظر گرفته شده است.

هرچند که افزایش دبی آمین می‌تواند به افزایش تولید کمک کند ولی به لحاظ افزایش حرارت مورد نیاز جهت پیش گرم کردن آن قبل از ارسال به برج دفع، افزایش افت فشار در مسیر و مبدل‌ها و... افزایش بیش از حد دبی نه تنها موجب افزایش تولید نمی‌گردد، بلکه می‌تواند آن را کاهش دهد.

در سال جاری (۱۳۹۲) برای بهبود شرایط جذب یک پمپ (پمپ اکسترنال) و یک مبدل حرارتی در کنار برج جذب نصب گردیده تا بخشی از آمین قسمت زیرین برج جذب بعد از خنک شدن در مبدل حرارتی به بالای برج فرستاده شود. این اقدام موجب بهبود شرایط تماس MEA با دود گردیده و راندمان جذب و تولید بهبود می‌یابد.

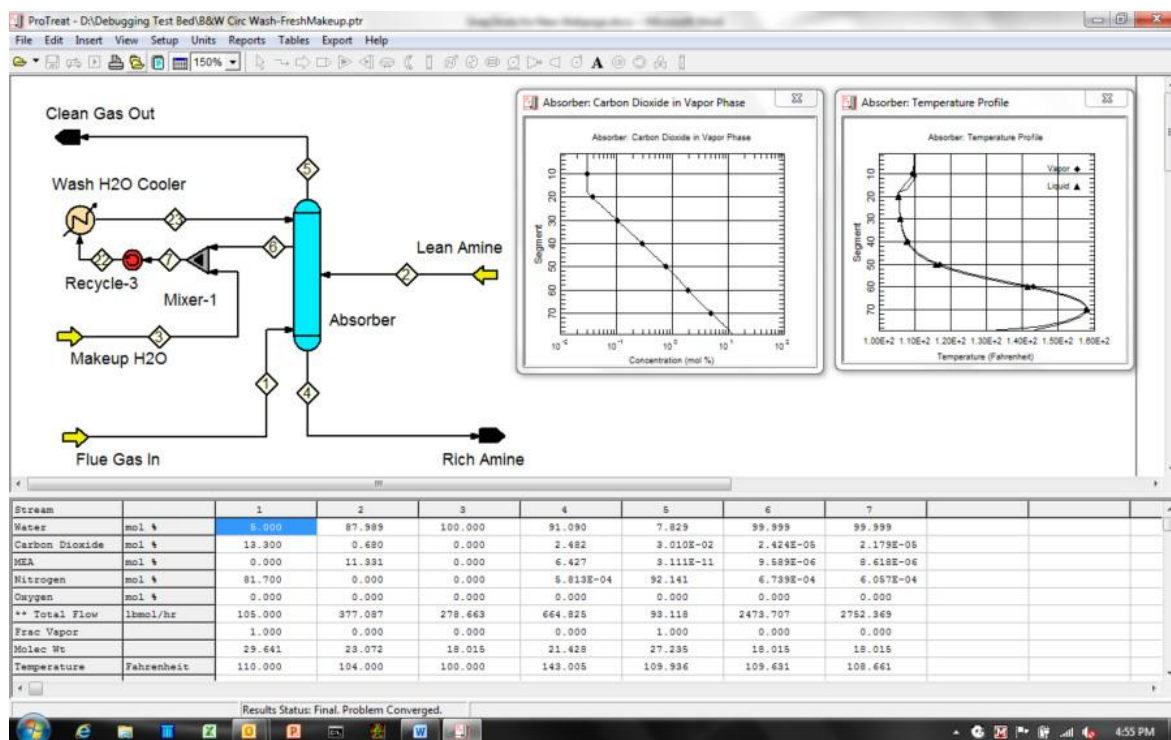
۲-۴-۵. درجه حرارت برج جذب

فرایند جذب CO_2 در آمین یک واکنش گرمازا بوده و تابعی از درجه حرارت می‌باشد. بدیهی است که با کاهش دمای آمین و دود واکنش به سمت جذب CO_2 هدایت می‌شود (برعکس برج دفع).

بر این اساس هرچه دمای دود و آمین کمتر باشد، عملکرد برج جذب بهتر خواهد شد. البته سرد کردن دود و آمین به خاطر محدودیت‌های جانبی نظیر دمای محیط و آب خنک‌کننده دارای محدودیت بوده و از یک حد معینی به پایین میسر نمی‌باشد.

مسئله مهمی که در این بین باید مورد توجه قرار گیرد، میزان آب سیستم می‌باشد. دود ورودی و خروجی از برج جذب دارای مقدار معینی بخار آب بوده که اصطلاحاً حالت اشباع نامیده می‌شود و مقدار آن به ازاء هر مترمکعب دود تابعی از درجه حرارت می‌باشد. سرد کردن بیش از حد دود ورودی باعث کاهش میزان بخار آب موجود در آن گردیده و در لحظه خروج از برج چون دمای آن افزایش می‌یابد، باعث کم شدن آب سیستم می‌گردد. از سوی دیگر با توجه به اینکه مقداری CO_2 در برج جذب توسط آمین از دود جدا می‌گردد، لذا دبی دود خروجی از دبی دود ورودی کمتر خواهد بود. بر این اساس اگر دمای دود ورودی و خروجی با هم برابر باشد، سیستم با افزایش میزان آب مواجه خواهد شد. در یک جمع بندی کلی و براساس تجربیات به دست آمده، توصیه می‌شود که ضمن عملیات خنک کاری دود و آمین ورودی به برج جذب، دمای دود ورودی حدود ۳-۵ درجه سانتی‌گراد از آمین ورودی سردتر باشد تا میزان آب در سیستم متعادل گردد. از آنجایی که فرایند جذب CO_2 در آمین گرماده است، لذا درجه حرارت آمین (بدنه برج) در اختلافات مختلف آن

ثابت نبوده و به صورت شکل زیر می باشد.



شکل ۲-۶. شبیه سازی توسط pretreat

بر همین اساس همواره دمای آمین خروجی در پایین برج جذب بیشتر از دمای آمین ورودی به بالای برج جذب خواهد بود. جهت بهبود شرایط جذب CO_2 آن بخش از آمین که توسط پمپ اکسترنال به بالای برج جذب ارسال می گردد باید توسط یک مبدل حرارتی و به کمک آب خنک شود.

۲-۵-۳. تماس دود با آمین

یکی از عوامل موثر در جذب گاز کربنیک توسط آمین نحوه تماس این دو ماده با یکدیگر می باشد. محلول آمین از قسمت فوقانی و دود از قسمت زیرین وارد برج جذب شده و در یک جریان غیر همسو (Current Counter) با یکدیگر تماس حاصل نموده و CO_2 توسط آمین جذب می شود. گسترش سطح آمین و کاهش ضخامت آن می تواند موجب افزایش سرعت جذب CO_2 توسط آمین گردد.

وظیفه پرکننده ها، افزایش سطح تماس بین آمین و CO_2 و بالا بردن میزان جذب CO_2 می باشد. پایین بودن افت فشار، بالا بودن میزان خیس شدن سطح و ممانعت از تشکیل کانال از دیگر ویژگی های یک پرکننده مناسب می باشد.

پخش مناسب آمین در قسمت فوقانی برج جهت توزیع یکنواخت آن بر روی پرکننده ها اهمیت بسزایی بر روی کیفیت جذب CO_2 توسط آمین دارد. باید دقت کرد که آب پخشکن ها تمامی سطح مقطع برج را تحت پوشش قرار داده و علاوه بر آن باید به نحوی نصی شود که آمین به صورت یکنواخت در تمامی سطح مقطع برج توزیع گردد.

۵-۲-۵. مبدل آمین در آمین

وظیفه این مبدل تبادل حرارتی بین آمین سبک خروجی از بویلر با آمین سنگین از پایین برج جذب می باشد. با این اقدام دمای آمین سبک کاهش یافته و دمای آمین سنگین جهت ارسال به برج استریپر افزایش می یابد. این مبدل می تواند از نوع پوسته لوله و یا صفحه ای باشد. دمای آمین سبک و سنگین خروجی از آن به دمای آمین ورودی، سطح تبديل حرارتی، مقدار CO_2 جذب شده و سرعت جریان هر یک از آمین ها بستگی دارد. در رابطه فوق R به معنی سنگین یا ریچ و L به معنی سبک می باشد.



شکل ۲-۷. مبدل ها



شکل ۲-۸. بویلر

۲-۵-۶. پمپ ارسال آمین از برج جذب به برج دفع

از آنجایی که در واحدهای تولید گاز کربنیک فشار در استریپر بالاتر از فشار در برج جذب می‌باشد و علاوه بر آن، آمین سنگین باید از پایین برج جذب به بالای برج دفع ارسال گردد، لذا استفاده از پمپ برای انتقال آمین ضروری است. پمپ مورد استفاده از نوع گریز از مرکز می‌باشد. در انتخاب پمپ باید دقت شود که شرایط بهره برداری از آن در نزدیکی BEP (نقطه با بهترین راندمان) باشد. بی توجهی به این امر موجب خرابی یا تاقان ها، فرسایش پروانه و پوسته و تاب برداشتن یا بریدن شافت پمپ می‌شود.

۲-۵-۷. سیستم بازیافت CO₂ از آمین سنگین

جداسازی CO₂ از آمین سنگین مستلزم مصرف حرارت می‌باشد. چرا که بر خلاف واکنش جذب، که گرمازا است، فرایند جداسازی گرماگیر است. انرژی حرارتی مورد نیاز ممکن است از دود و یا بخار آب باشد. آمین سنگین از بالای برج استریپر و توسط آب پخش کن به داخل برج ریخته می‌شود.

در قسمت زیرین برج استریپر، ریویلر قرار دارد. وظیفه ریویلر تامین آب بخار جهت پرم کردن و انتقال جرم با آمین سنگین بوده تا در طی آن جداسازی CO_2 از آمین سنگین صورت پذیرد. CO_2 آزاد شده همراه با مقداری بخار آب و آمین از آن خارج می‌شود. این مخلوط بعد از عبور از مبدل های CO_2 در هوا و در آب و جداسازی کندانس آب و آمین که به قسمت میانی برج استریپر فرستاده می‌شود، جهت تراکم، پالایش و میعان به سایر قسمت ها ارسال می‌گردد. آمین با از دست دادن بخش اعظم CO_2 جذب شد هدر آن به سمت قسمت پایین برج حرکت نموده و در قسمت ریویلر جمع می‌شود. جذب حرارت توسط آمین سبک و تولید بخارات آب و آمین منبع انرژی برای بازیافت CO_2 خواهد بود. آمین سبک برای جذب دوباره CO_2 به سمت برج جذب ارسال می‌گردد.

۲-۵-۸. تراکم گاز CO_2

گاز CO_2 خروجی از برج استریپر بعد از عبور از مبدل های حرارتی سرد شده و مقدار زیادی از بخار آب و آمین همراه آن جدا می‌گردد.

برای مایع کردن CO_2 لازم است که دمای آن کاهش یافته و یا فشار آن افزایش یابد. از آنجایی که دمای بحرانی $31.1^\circ C$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، فشار بحرانی آن 73 بار می‌باشد. با افزایش فشار، دمای میعان نیز افزایش می‌یابد و مایع کردن CO_2 آسان تر می‌شود.

بر حسب فشار کاری، کمپرسور می‌تواند یک مرحله ای یا دو مرحله ای باشد. دو مرحله ای کردن کمپرسور را می‌توان به چند صورت انجام داد:

- استفاده از پیستون با قطر بزرگتر در مرحله اول و پیستون با قطر کوچکتر در مرحله دوم
- قطر پیستون ها برابر ولی تعداد کمپرسورهای مرحله اول از دوم بیشتر باشد.
- قطر و تعداد پیستون ها برابر باشد ولی سرعت دورانی مرحله اول از مرحله دوم بیشتر باشد.

۲-۵-۹. مایع کن

نگهداری گاز کربنیک در فاز گازی در مقیاس بالا از نظر ایمنی و اقتصادی چندان مطلوب نبوده و اکثر تولیدکنندگان گاز کربنیک ترجیح می‌دهند که ذخیره‌سازی و حمل آن در فاز مایع صورت گیرد. به همین دلیل لازم است که بعد از تراکم گاز، دمای آن به $-28^\circ C$ درجه سانتی‌گراد یا کمتر کاهش داده شود. برای این کار، از دو روش تبرید تراکمی و یا جذبی استفاده می‌شود مبرد مورد استفاده در این روش آمونیاک می‌باشد. جذب آمونیاک در آب حرارت را زایل کرده و در عوض جداسازی آن گرماگیر است.

فصل ۳

کاربردهای یخ خشک

کاربردهای یخ خشک به شرح زیر می باشد

۱-۳. از بین بردن فرورفتگی ها و آسیب های ناشی از تگرگ

یخ خشک فلزها را منقبض کرده، فرورفتگی های کوچک روی خودروها را ترمیم می کند. گاه فرورفتگی کاملاً بیرون می پرد. در بیشتر مواقع اگرچه که سطح، مانند حالت اولیه خود صاف نمی شود اما فرورفتگی به طور چشم گیر کاهش می یابد.

۲-۳. برداشتن کاشی های کف:

یخ خشک کاشی کف را با انجماد و انقباض آرام، سست کرده، باعث جدا شدن آن می شود. دمای پایین یخ خشک موجب از بین رفتن پیوندها می شود. اگر آن را در مرکز کاشی بگذاریم پس از چند لحظه کاشی بلند می شود اگر این اتفاق نیفتاد می توانیم به وسیله ی یک چکش به آن ضربه وارد کنیم، خواهیم دید که کاشی به راحتی برداشته می شود

۳-۳. نابودکننده ی جوندگان:

یخ خشک از هوا سنگین تر است به همین خاطر به راحتی به لانه ی جوندگان راه پیدا می کند. کافی است در هر لانه تکه ای یخ خشک قرار دهیم و رو آن را با خاک بپوشانیم.

۴-۳. داغ زدن:

یخ خشک همراه الکل فراسرد شده برای داغ زدن اسبها، حیوانات اهلی و سگهای شکاری استفاده می شود الکل باید خلوص ۹۰٪ داشته باشد یعنی از الکل صنعتی استفاده نشود.

۵-۳. پزشکی:

پزشکان برای منجمد کردن پوست، جهت از بین بردن زگیلها از یخ خشک یا نیتروژن مایع استفاده می کنند. برخی از مراکز پزشکی نمونه های پزشکی را برای آزمایشها یا پژوهشهای بیشتر در یخ خشک به جاهای دیگر می فرستند. همچنین برای جلوگیری از جابجایی استخوان در هنگام حمل و نقل، با استفاده از یخ خشک آن را منجمد می کنند.

۶-۳. گند کردن واکنشهای شیمیایی:

دمای پایین یخ خشک باعث کند شدن یا متوقف شدن برخی از واکنشهای شیمیایی می شود. یخ خشک برای نگهداری و حمل و نقل چسبهای مخصوص مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین یخ خشک به عنوان عاملی خنثی کننده در برابر برخی قلیاها مناسب است.

۷-۳. بی اثر کننده ی محیط:

یخ خشک در یک ظرف جایگزین اکسیژن داخل ظرف می شود و موجب پیشگیری از آتش سوزی می شود. همچنین از یخ خشک برای جابجایی بدون خطر تانکرهای گاز زیرزمینی استفاده می شود. برای کم کردن واکنش پذیری استیلن در حمل و نقل می توان از یخ خشک به عنوان گاز بی اثر در کپسولهای جوشکاری استفاده کرد چون نسبت به گازهای نجیب دیگر مانند هلیوم و آرگون ارزان تر است.

۸-۳. دور کردن پشه ها

به نظر می رسد که کربن دی اکسید می تواند پشه ها را از انسان دور کند. نظریه ای که در این زمینه وجود دارد این است که پشه ها انسان ها و جانوران را از روی کربن دی اکسیدی که با تنفس در اطراف خود پس می دهند پیدا می کنند. بدین ترتیب پشه ها به سوی یخ خشک جذب می شوند و می توان آن ها را به دام انداخت.

۹-۳. صنعت نفت:

از یخ خشک در حوزه های نفتی برای تمیز کردن تانکرها استفاده می شود. هنگامی که پارافین و لجن در این تانکرها جمع می شود ماده های شیمیایی برای به هم زدن ته تانکر به کار می رود. این کار موجب جدا شدن مایع و جدا کردن آب از نفت در ترکیب های پارافین می شود تا این که آب جدا شده، نفت جمع آوری می شود. همچنین از کربن دی اکسید مایع جهت

شکافت دادن و افزایش جریان نفت در چاه استفاده می‌شود.

۳-۱۰. بارور کردن ابرها :

پاشانیدن مواد سرمازا مانند انیدرید کربنیک جامد (یخ خشک) یکی از طرق باروری ابرها است

۳-۱۱. استفاده در کپسول‌های آتش‌نشانی :

چون از آب سبک تره معمولاً تو کپسول‌های آتش‌نشانی از آن استفاده می‌کنند تا بتوانند مواد نفتی رو به کمک آن خاموش کنند ولی استفاده اصلی‌اش به عنوان سردکننده ست.

۳-۱۲. تولید دود، مه و بخار و حالت معنوی یا رؤیا:

می‌توان با افزودن یخ خشک به آب داغ یا بخار آب، مه غلیظی تولید کرد. دی‌اکسید کربن بخار می‌شود و تولید مه می‌کند و سرمایش سریع هوای اطراف، بخار آب محیط را میعان کرده و بر غلظت مه می‌افزاید. مه و دود تولید شده از یخ خشک روی زمین ته‌نشین می‌شود. هم‌چنین دمای آب، مشخصات مه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آب داغ یا بخار، کربن دی‌اکسید را سریع بخار می‌کند و باعث تولید مه بیشتر می‌شود. اگر آب داغ یا بخار تازه اضافه نشود آب باقی‌مانده خیلی سریع سرد می‌گردد

وسایلی که تولید دود، مه یا بخار می‌کنند می‌توانند در تولید جلوه‌های ویژه هیجان‌انگیزی به کار روند. آیا تاکنون فکر کرده‌اید که این دود چگونه تولید می‌شود؟ آیا تاکنون خواسته‌اید خودتان این جلوه‌های ویژه را خلق کنید؟ به یاد داشته باشید "دانش اندک می‌تواند خطرناک باشد." اگر وسایل و ترکیبات شیمیایی را به درستی برای تولید دود و مه به کار نبرید ممکن است در معرض خطراتی مثل سمیت مواد شیمیایی، سوختگی، خفگی و حتی آتش‌سوزی قرار بگیرید. در اینجا راه‌هایی که در تولید دود و بخار به کار می‌رود آورده شده است، اما به شما توصیه نمی‌کنیم که خودتان برای تولید دود اقدام کنید.

۳-۱۳. دستگاه جرم‌گیر و رسوب‌زدا :

این دستگاه از دانه‌های فشرده یخ خشک به قطر ۳ mm ماشین‌آلات و سطوح مختلف را رسوب‌زدایی می‌کند .

۳-۱۴. استفاده از گاز کربنیک در آب پرورش ماهی قزل‌آلا:

باید توجه داشت که میزان این گاز در آب بیش از حد مجاز نباشد، در غیر این صورت میزان اکسیژن موجود در آب کاهش می‌یابد.