فصل چهارم

حمل و انبارش گوگرد به شکل مذاب

۱-۴- سیستم های جابجایی گوگرد مذاب

در کشورهای مختلف حمل گوگرد مایع توسط کامیون و واگن های راه آهن و کشتی هائی که برای همین منظور طراحی شده اند انجام می گیرد.

اگر چه جابجایی، نگهداری، و حمل و نقل گوگرد به شکل مذاب کار مشکلی است ولی شناخت بهتر گوگرد مذاب طی سالیان متوالی باعث شده است که راه حل های مناسبی برای مقابله با این مشکلات اریه شود. امروزه بخوبی مشخص شده است که حفظ درجه حرارت در گستره دمایی ۱۳۸–۱۵۴ °C (۲۸۰–۳۱۰ °F) بسیار حائز اهمیت است. پایین تر از دمای ۱۳۸°C، گاز سولفید هیدروژن از مذاب خارج می گردد و چنانچه فضای کافی وجود داشته باشد تجمع مقادیر زیاد H_2S پتانسیل ایجاد خطر بالایی را ایجاد خواهد نمود. از طرف دیگر بالاتر از ۱۵۹°C ویسکوزیته مذاب بطور ناگهانی افزایش می یابد، بطوریکه پمپاژ گوگرد با مشکل مواجه خواهد شد. از اینرو تغییرات درجه حرارت گوگرد مذاب می تواند سبب توقف یک واحد گوگرد و یا اختلال در ترمینال های بارگیری و یا تخلیه گوگرد مذاب شود. این مشکلات در حضور ناخالصی ها می تواند تشدید گردد. بر این اساس از تجهیزات کنترلی دقیقی جهت نگهداری دمای مخازن نگهداری گوگرد مذاب، خطوط لوله انتقال گوگرد مذاب، پمپ ها، شیرها و دیگر اجزای در تماس با گوگرد مذاب استفاده می شود.

بطور کلی برای انتقال گوگرد مذاب بین مکان های مختلف از چهار روش ذیل استفاده می شود:

۱- انتقال گوگرد مذاب توسط خطوط لوله گرم

۲- انتقال با تانکر های مخصوص

۳- انتقال با واگن های مخصوص

۳- انتقال با کشتی

۱-۱-۴- جابجایی گوگرد توسط خط لوله

طی سالهای گذشته انتقال گوگرد مایع از طریق خط لوله های گرم در واحد تولید گوگرد و یا در پالایشگاهها بطور موفقیت آمیزی انجام شده است. یک خط لوله ۱۴/۵ کیلومتری درخلیج مکزیک و یک خط لوله ۷ کیلومتری (گرم شونده با جریان برق) در آلمان از آن جمله آنها می‌باشند. امروزه تعداد کمی خطوط لوله انتقال گوگرد مذاب در مسافت های بیشتر از ۴۰Km نیز وجود دارند. البته خطوط لوله بزرگ تری نیز وجود دارد که گوگرد مذاب را از واحد تصفیه گاز در کارولین آلبرتا (Shells Caroline) جهت دانه بندی به محل دیگری (Shantz) منتقل می کند. یکی دیگر از این

خطوط لوله، گوگرد مذاب را به مسافت ۲۰ کیلومتر از Aramcos Berri عربستان صعودی به ترمینال دریایی Jubail (غربی ترین استان عربستان) منتقل می کند.

در رابطه با انتقال گوگرد مذاب از طریق خط لوله های طولانی دو مشکل عمده وجود دارد:

۱) گستره دمایی نسبتا اندک که گوگرد می تواند به شکل مذاب منتقل شود (۱۵۰-۱۲۰°C)

۲) هدایت گرمایی خیلی کم گوگرد جامد که ذوب مجدد آن را در لوله ها مشکل می کند

علاوه بر اینها، گوگرد ویژگی های غیر معمولی از خود نشان می دهد. به عنوان مثال چنانچه دمای مذاب فراتر از ۱۶۰°C برود مذاب، ویسکوز می شود و لذا پمپ کردن آن مشکل خواهد شد.

بر همگان مشخص است که جامد شدن گوگرد در لوله های انتقال گوگرد مذاب (بخصوص موقعی که گوگرد به صورت نقطه ی در بخش های مختلف لوله راسب می شود) چه زیان های جبران ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. تبدیل گوگرد از حالت مذاب به جامد با تغییر دانسیته همراه است (دانسیته گوگرد جامد بیشتر از گوگرد مذاب است)، لذا بهنگام جامد شدن چروک می شود و چنانچه در زمان ذوب مجدد تدابیر لازم به کار نرود ممکن است سبب ترک خوردگی خط لوله و نشتی گوگرد مذاب به بیرون شود. برای جلوگیری از بروز این مشکلات از سیستم های گرمایشی پشتیبان الکتریکی، بخار و آب داغ نیز استفاده می شود.

اگرچه ویسکوزیته گوگرد مذاب تقریبا ۱۰ برابر آب است ولی انرژی مورد نیاز برای پمپ کردن آن ۱/۸ برابر همان مقدار آب می باشد که معادل چگالی ویژه گوگرد مایع است.

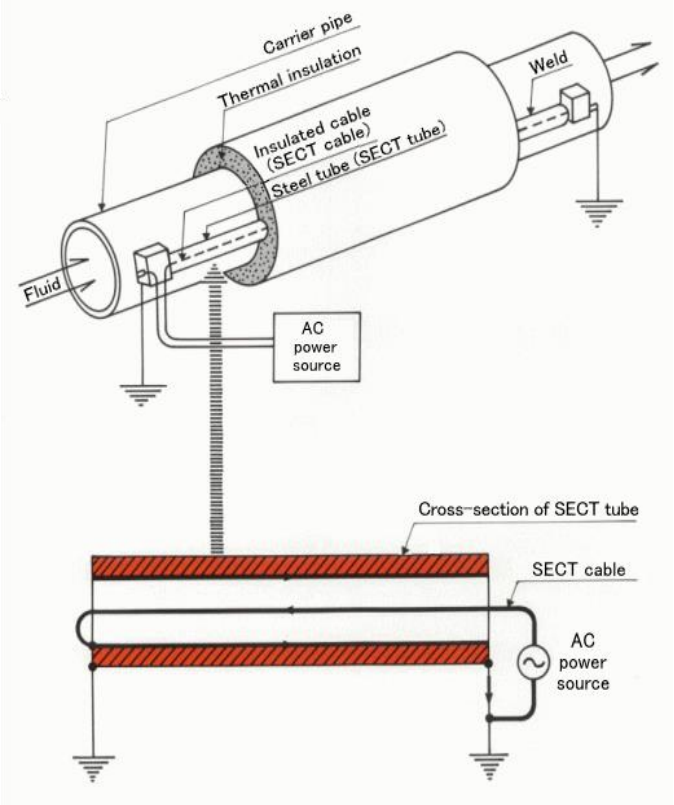
۲-۱-۴- روش های حرارت دهی گوگرد مذاب داخل لوله

۱) سیستم های ژاکت دار معمولی (Traditional Jacketed System): در این سیستم ها یک منبع حرارتی خارجی برای سیال ژاکت وجود دارد و حرارت به سبب اختلاف درجه حرارت محلی بین سیال خارجی و گوگرد مذاب به داخل لوله منتقل می شود. چنین سیستم هایی به وجود نقاط سرد محلی حساس بوده و مقادیر انرژی بالایی را به دلیل وجود ناهمگنی در گرمادهی مصرف می کنند.

۲) سیستم حرارتی الکتریکی: در این سیستم ها، به واسطه وجود مقاومت های الکتریکی انرژی حرارتی ایجاد و به خط لوله منتقل می شود. اگرچه وجود المنت های الکتریکی، حرارت یکنواختی روی خطوط لوله ایجاد می کند ولی چنانچه خوب روی آنها عایق بندی نشود، یکنواختی حرارت در بخش های مختلف از بین می رود.

۳) (SECT) Skin Electric Current Tracing : این سیستم حرارت دهی توسط شرکت مهندسی Chisso در ژاپن ابداع و توسعه داده شد که مشکلات مطرح شده در بالا را پوشش می دهد.

تکنولوژی SECT برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ برای خط لوله حامل Fuel oil به طول ۲/۳ کیلومتر در اداره Minamata شرکت Chisso به کار برده شد. امروزه از این تکنولوژی برای خطوط لوله انتقال گوگرد مذاب به طول ۲۰Km استفاده می شود. شکل (۴-۱) نمایی از این سیستم حرارت دهی را نشان می دهد.



شکل(۱-۴) نمایی از سیستم حرارتی SECT

در سال ۱۹۹۲ شرکت جنرال پترلیوم قطر (QGPC) از سیستم SECT برای گرم کردن خط لوله انتقال گوگرد مذاب با دمای ۱۴۰°C به طول ۲/۲Km و قطر ۳ اینچ استفاده کرده است. جدول (۳-۱) کاربردهای این تکنولوژی را در بخش های مختلف صنعت برای انتقال گوگرد مذاب نشان می دهد. قابل توجه اینکه برای ایزوله کردن این خطوط انتقال گوگرد مذاب از یک عایق به ضخامت ۸۰mm از جنس سیلیکات کلسیم استفاده شده است که روی آن با ورقه های آلومینیم پوشیده شده است.

۴) Hot water heat tracing : واحد گوگردزدایی شل کارولین واقع در دامنه کوههای راکی ایالت آلبرتای کانادا، گوگرد خود را از طریق یک خط لوله ۴۱ کیلومتری به شکل مذاب به راه آهن Shantz ارسال می کند.

این خط لوله به مدت سه سال بدون هیچگونه مشکلی به طور مستمر کار خود را انجام می دهد. خط لوله فوق الذکر از دو خط لوله هم محور ساخته شده است. از لوله داخلی گوگرد مذاب و از جداره خارجی آب داغ تحت فشار عبور می کند. قطر لوله داخلی ۲۲۰mm و قطر لوله خارجی ۳۲۴mm است که با ۸۰mm فوم پلی اورتان سنگین عایق بندی شده و سپس روی آن پوششی از ژاکت پلی اتیلن وجود دارد. همچنین یک خط لوله برگشت اب داغ به قطر تقریبی ۱۶۸mm و عایق بندی به ضخامت ۵۰mm نیز وجود دارد تا بتواند آب داغ را در کل مسیر به گردش در آورد.

در این سیستم دو هیتر برای گرم کردن آب در دو انتهای مسیر خط لوله نیز تعبیه شده است. چنین سیستمی می تواند مقدار ۵۱۰۰ تن گوگرد مذاب را در روز حمل کند که البته با اضافه کردن پمپ های اضافی در طول مسیر می تواند تا ۸۰۰۰ تن نیز افزایش یابد.

۵) ژاکت های حرارتی Contro Trace bolt-on : با ژاکت ها ی Bolt-on Jackets می توان دمای گوگرد مذاب را در گستره ۱۳۸°C-۱۵۴ کنترل کرد. این ژاکت ها بالغ بر ۳۰ سال در صنعت گوگرد استفاده می شوند و در این رابطه موفقیت چشمگیری داشته اند. بعنوان مثال در یک ترمینال انتقال گوگرد مذاب (شکل ۳-۳) با خط لوله ای به طول ۳۵۰۰ فوت (۱۰۶۷ متر) و قطر ۱۸ اینچ (۴۶cm) از ژاکت های حرارتی Contro Trace bolt-on شش المنتی برای کنترل درجه حرارت استفاده شده است. استفاده از چنین تجهیزاتی در مقایسه با ژاکت های که کل سیستم خط لوله را می پوشانند باعث صرفه جویی معادل ۱۰۰۰۰۰ دلار در هزینه ها می شود و ۲۵ درصد صرفه جویی می شود. بطور کلی چنین خط لوله ای علاوه بر کاهش ۲۵ درصدی هزینه ها، به مدت ۲ سال بدون هیچ مشکل خاصی در امر انتقال گوگرد مذاب عمل می کند.

شکل (۲-۴) خط لوله مجهز به ژاکت های حرارتی Contro Trace bolt-on در ترمینال انتقال گوگرد مذاب

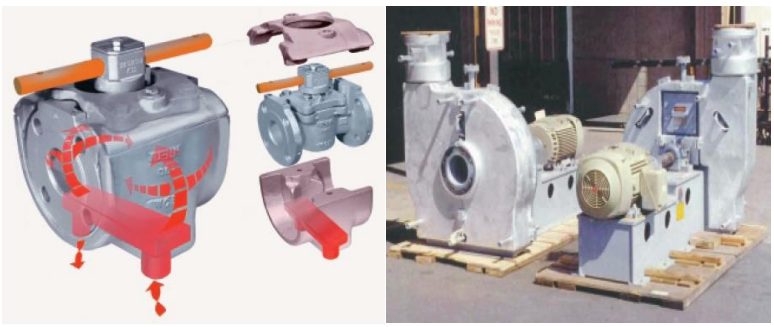
همچنین کشتی شرکت M/V Sulphur Enterprise مخصوص حمل گوگرد مذاب با ظرفیت ۲۴۰۰۰ تن مجهز به این ژاکت های حرارتی هستند، بطوریکه ۳۶۵ متر (۱۳۰۰ فوت) خط لوله موجود در کشتی توسط ۱۹۲۰ متر (۶۳۰۰ فوت) سیستم حرارتی Contro Trace گرم می شود (شکلهای ۳-۴ و ۳-۵). این کشتی هر هفته ۲۴۰۰۰ تن گوگرد مذاب را از تگزاس و لوسیانا به فلوریدا حمل می کند. گوگرد مذاب از گالوستون (Galveston)، تگزاس و یا ترمینال لوسیانا بارگیری شده و توسط کشتی به تامپا (Tampa) در فلوریدا حمل می شود و در مقصد با سرعت جریان ۲۳۰۰ تن در ساعت تخلیه می شود. قابل توجه اینکه دمای محیط در بعضی اوقات تا $-7^{\circ}C$ کاهش می یابد.

شکل (۴-۴) کشتی M/V Sulphur Enterprise مربوط به حمل گوگرد مذاب

شکل (۴-۴) خط لوله عایق بندی شده انتقال گوگرد مذاب در کشتی Sulphur Enterprise مجهز به سیستم Contro Trace bolt-on

در این کشتی جهت نگهداری دمای گوگرد مذاب در ۱۳۷°C از روغن داغ با ماکزیمم دمای ۱۶۰°C و سرعت جریان ۸۷ گالن در دقیقه استفاده می شود. همچنین برای ایزوله کردن لوله های انتقال گوگرد مذاب، عایق هایی از جنس Cal-Sil و به ضخامت ۲ اینچ (۵cm) استفاده می شود. لازم به ذکر است که به هنگام طراحی کشتی Sulphur Enterprise از ژاکت های کامل برای نگهداری درجه حرارت گوگرد مذاب استفاده می شد که به دلیل قیمت بالای آنها (۲۵ درصد بیشتر نسبت به Contro Trace bolt-on) و اشکالات فنی بوجود آمده بعدا جایگزین شدند.

ژاکت های حرارتی bolt-on برای پمپ ها، شیرها و دیگر اجزا نیز طراحی شده و به خوبی روی این قطعات قرار می گیرند. این ژاکت ها از جنس آلومینیم هستند که در قالب های متناسب با اجزای مربوطه ساخته شده اند (شکل ۴-۵).



شکل (۴-۵) قالب های ژاکت های حرارتی bolt-on از جنس آلومینیم برای پمپ و شیر های مخصوص گوگرد مذاب

در واقع این ژاکت ها به عنوان یک مانع از اتلاف حرارت عمل می کنند. بعنوان مثال به هنگام ایجاد نقص در منبع حرارتی و یا خاموش شدن سیستم، سطح لازم برای مذاب نگه داشتن گوگرد وجود داشته و در هنگام بازگشت به حالت عادی، گوگرد به شکل مذاب وجود خواهد داشت. به طور کلی از این ژاکت های حرارتی در ۵۰۰۰۰ کاربرد مختلف در سراسر جهان استفاده می شود.

شرکت گاز مارتین بعنوان بزرگترین توزیع کننده گوگرد در آمریکا دارای سه ترمینال گوگرد مذاب می باشد که از طریق لنگرگاه مناسب (Dock) به تانک های ذخیره متصل می باشند. ترمینال Neches River نزدیک بیومونت تگزاس در آگوست سال ۱۹۹۲ به بهره برداری رسید. ترمینال Tampa فلوریدا در ژانویه ۱۹۹۶ شروع به کار کرد و سومین ترمینال (Stanolind Cut) که در نزدیکی بیومونت تگزاس است در سال ۱۹۹۹ شروع به کار کرد.

در هر سه تای این ترمینال ها، گوگرد مذاب از طریق خط لوله های مخصوص به کشتی و یا از کشتی به تانک های ذخیره منتقل می شود. از این رو نگهداری دمای گوگرد مذاب در گستره خاصی مهم است. یادآوری می شود که چنانچه دمای گوگرد مذاب فراتر از ۱۵۹°C برود، ویسکوزیته آنقدر زیاد می شود که انتقال آن را از خط لوله مشکل می کند. بر این اساس به منظور حفظ جریان گوگرد مذاب داخل لوله ها باید از عایق های حرارتی مناسب استفاده شود.

ترمینال Neches River توانایی ذخیره ۲۷۰۰۰ تن گوگرد را در سه تانک ذخیره مجهز به سیستم گرمایشی مناسب را دارد. گوگرد مذاب از طریق خط لوله ای به طول ۳۰۵ متر (۱۰۰۰ فوت) و قطر ۱۰ اینچ (۲۵/۴ سانتیمتر) به مخازن منتقل می شود. برای بارگیری گوگرد مذاب از تانک های ذخیره به کامیون، لوله هایی به طول ۱۵۲ متر (۵۰۰ فوت) و قطر ۱۵-۱۰ سانتیمتر (۴-۶ اینچ) استفاده می شود. تمام خط لوله بکار برده شده با استفاده از سیستم های محافظ گرمایی Contro trace thermal پوشیده شده و دمای گوگرد مذاب را ثابت نگه می دارند.

۶) سیستم های Gut-traced pipe: معمولا تهیه و نصب لوله های Gut-traced راحت است. برای این منظور لوله ای به قطر ۲ اینچ (5cm) حاوی بخار داغ از داخل لوله دیگری به قطر ۱۰ اینچ که گوگرد مذاب در آن جریان دارد عبور می کند. فشار و دمای بخار مصرفی طوری تنظیم می گردد تا علاوه بر ایجاد دمای مورد نیاز، انتقال گوگرد مذاب از داخل لوله به سهولت انجام گیرد.

یکی از عیب های چنین خطوط لوله ای هنگامی رخ می دهد که لوله ۲ اینچ مخصوص بخار سوراخ شود. در این حالت بخار آب و همچنین مواد حاصل از زنگ زدگی لوله ها به داخل گوگرد نفوذ کرده و موجب آلودگی آن می شود. از سوی دیگر چنانچه فشار داخل لوله محتوی گوگرد مذاب

بیشتر از فشار درون لوله بخار باشد، گوگرد مذاب به داخل لوله مرکزی نفوذ کرده و زمینه خوردگی بیشتر آن را فراهم می نماید.

وجود بخار در خط لوله انتقال گوگرد مذاب علاوه بر ایجاد خوردگی می تواند منبع ایجاد گازهای خطرناک نیز باشد. علاوه بر این، وجود آب می تواند باعث سرد شدن گوگرد و در نهایت با ایجاد پلاک هایی به طول ۵-۴ فوت باعث مسدود شدن خطوط انتقال گوگرد مذاب شود. علاوه بر این ورود ذرات گوگردی در بخار می تواند موجب مسدود شدن تراپ های بخار گردد.

بر همین اساس خطوط لوله انتقال گوگرد مذاب در ترمینال Neches River، یکی دو بار در سال مسدود می شد که باز کردن آنها توسط سیستم های گرمایشی الکتریکی مستلزم صرف ساعت ها تا یک هفته زمان بود. علاوه بر این عایق کردن شیرهای مسیر گوگرد مذاب با این تکنولوژی کاری سخت و پر هزینه است. با توجه به مشکلات مطرح شده در بالا مشخص شد که استفاده از ژاکت های bolt-on می تواند علاوه بر جلوگیری از آلوده شدن بخار با گوگرد و بالعکس کاهش هزینه نیز دربر داشته باشد. در واقع بخاطر آنکه چنین سیستم گرمایشی بجای بخار از روغن داغ به عنوان منبع گرمایی و انتقال حرارت استفاده می کند مسئله آلودگی گوگرد مذاب منتفی می گردد. بر همین اساس در سال ۱۹۹۴ شرکت گاز مارتین تجهیزات ترمینال بیومونت تگزاس را با Contro Trace Pipe Elements برای خطوط لوله و Contro Heat Valve Jackets برای شیرها تعویض کرد و از مشکلات به وجود آمده به سبب مسدود شدن لوله ها و آغشته شدن گوگرد به بخار جلوگیری کرد.

ترمینال گوگرد مذاب در تامپا (Tampa) شامل دو تانک ذخیره ۱۵۰۰۰ تنی می باشد که توسط لوله هایی به قطر ۱۲ اینچ (۳۰ سانتیمتر) به لنگرگاه متصل می شوند. تمام طول ۶۶۰ فوتی (۲۰۱ متری) این خط لوله با Steam-heated Contro Trace Panels پوشیده شده است. در هر ۴۰ فوت (۱۲ سانتیمتر) طول پانل از دو المنت گرمایی ساخته شده که ورودی بخار به انتهای یکی وارد و از انتهای دیگری خارجی می شود. پوشش های حرارتی Contro Trace Panels به کار برده شده برای لوله های انتقال گوگرد مذاب، تنها بخش کوچکی از سطح لوله را می پوشاند که البته همین مقدار جهت مذاب نگه داشتن گوگرد کافی است. به عبارت دیگر دو پانل bolt-on به کار برده شده فقط ۸ اینچ (۲۰cm) از طول فاصله های ۴۰ اینچی (۱۰۲cm) می پوشاند. قابل توجه است که سیستم های طراحی و مدل سازی برای ارزیابی میزان پوشش دهی سطح با سیستم های حرارتی فوق وجود دارد.

شایان ذکر است که علاوه بر مزایای عمده سیستم های گرمایشی Contro Trace نسبت به سیستم Jacketed Pipe ، نگهداری و تعویض آنها به سهولت انجام می گردد.

با توجه به عملکرد خوب سیستم های گرمایشی bolt-on ترمینال جدید Stanolind Cut در سال ۱۹۹۹ با این روش ساخته شده است. این ترمینال نیز دارای دو تانک ذخیره ۱۵۰۰۰ تنی است که توسط خط لوله ۱۲ اینچی به طول ۱۴۰۰۰ فوت به لنگرگاه متصل می شود. خط لوله دیگری به طول ۴۰۰ فوت و قطر ۶ اینچ برای اتصال تانک به کامیون (Trucks) در نظر گرفته شده است. این تجهیزات دارای ۲۵ شیر و چندین پمپ می باشند.

۲-۴- جابجایی گوگرد مذاب با تانکر

گوگرد مذاب را می‌توان با کامیون از نقاط دور افتاده تا ترمینالهای راه آهن حمل کرد. کامیون های تانکر حمل گوگرد مایع دارای ظرفیت ۲۲ تن با یک تریلی و ۳۵ تن شامل دو تریلی می باشد (شکل ۶-۴).

شکل (۶-۴) نمونه ای از تانکرهای حمل گوگرد مذاب، راست) تک تریلر – چپ) دو تریلر

استفاده از کامیون‌های تانکر با یک یا دو تریلی بستگی به محدودیت های محلی و شرایط جاده‌ها دارد. در صورت امکان حتی کامیونهای با ظرفیت ۸۷ تن نیز برای این منظور ساخته شده اند.

برای مسافت های طولانی تر تانکرها حتماً می بایست توسط پشم شیشه از لحاظ تبادل حرارت ایزوله شده باشند و باکویل بخار مجهز گردد. شیرهای تخلیه معمولاً مجهیز به پوشش بخار می باشد.

مخزن تریلی ها معمولاً ازورقه های چدنی، آلومینیومی و یا فولاد ضد زنگ ساخته می شوند. مخازن چدنی بعلت ارزانتر بودن جنس و سهولت ساخت و تعبیه، متداول شده اند ولی مشکل اصلی آنها وزن سنگین و آسیب پذیری در مقابل خورندگی و زنگ زدگی است.

مخازن آلومینیومی به علت مقاوم بودن در مقابل خوردندگی و زنگ زدگی از محبوبیت خاصی برخوردارند ولی به علت پیچ و تاب متحمله در حین حرکت به ویژه در جاده های کوهستانی بعد از مدتی ترک برداشته و گوگرد مایع از داخل آنها به خارج نشست می کند.

مخازن ساخته شده از فولاد ضد زنگ علیرغم گرانی آن به علت دوام بیشتر اخیراً متداول شده اند و در اغلب موارد بویژه در راه های طولانی تر از آنها استفاده می شود.

۳-۴- جابجایی گوگرد مذاب با واگن

بارگیری و حمل و نقل گوگرد مایع توسط واگن مشابه با کامیون و تریلی است. گنجایش هر واگن ۴۰-۷۰ تن گوگرد می‌باشد و تا حد ۹۰ تن نیز می‌رسد. واگن ها از لحاظ تبادل حرارتی کاملاً ایزوله و به کویل و پوشش بخار مجهزند.

این واگن‌ها گوگرد را در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد به صورت مذاب برای ۱۴-۱۰ روز حتی در آب و هوای سرد نگه می‌دارند.

معمولی ترین روش حمل و نقل گوگرد مایع راه آهن است که می‌توان در ترمینال بارگیری، گوگرد مذاب را با سرعت ۹۰۰۰ لیتر در دقیقه بارگیری کرد. به این طریق یک واگن معمولی در مدت ده دقیقه پر می‌شود. علاوه بر این استفاده از تانکرهایی با یک دریچه بارگیری سبب کاهش در مقدار گوگرد تلف شده و نیز کنترل بیشتر برای سولفید هیدروژن آزاد شده می‌شود. شکل (۷-۴) نمونهای از این واگن ها را نشان می دهد.

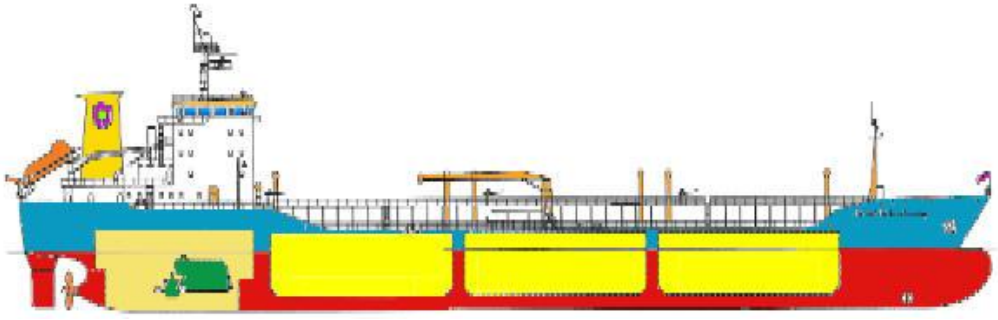
شکل (۷-۴) واگن مخصوص حمل گوگرد مذاب

۴-۴- جابجایی گوگرد مذاب با کشتی

در کشورهائی که رودخانه های قابل کشتیرانی و راههای آبی وجود دارند گوگرد مایع توسط شناورهای ساخته شده ویژه که برای حمل و نقل این محصول طراحی و ساخته شده اند انجام می‌گیرد. در کشوری مثل آمریکا که راههای آبی رودخانه ای در دسترس است برای حمل و نقل گوگرد مایع از شناورهای ۲۵۰۰ تنی با مخازن چند جداره مجهز به کویلهای بخار برای گرم نگه داشتن گوگرد استفاده می شود. این شناورها دارای مخازن متعددی می باشند که مجموع ظرفیت آنها معمولاً بین ۲ تا ۳ هزار تن است. همچنین آنها مجهز به دستگاه های تولید بخار می باشند که معمولاً ۲۴ ساعت قبل از تخلیه گوگرد به مخازن بندری بکار انداخته می شوند. عبور بخار با فشار مناسب از درون کویل‌های احداث شده در داخل مخازن سبب بالا رفتن حرارت گوگرد تا حد ۱۴۵ درجه سانتیگراد می شود. این شناورها باید مجهز به لوله ها و شیلنگ های ویژه ای باشند که قادر به بارگیری و تخلیه گوگرد تحت شرایط و تکان های ناشی از تلاطم آب و تغییرات وزن محموله هنگام بارگیری و تخلیه گردند.

حمل و نقل گوگرد به این روش از سال ۱۹۴۵ شروع شده و هم اکنون در دو مسیر رودخانه‌ای می سی سی پی و راین در جریان می‌باشد. سرعت بارگیری آنها ۱۱۲۰ تن در ساعت است (سرعت بارگیری در کشتی با استفاده از دو پمپ ۶۵ اسب بخاری ۱۲۰۰ تن در ساعت می‌باشد و سرعت بارگیری در کشتی بدون استفاده از پمپ با بهره‌گیری از گرانروی گوگرد مذاب ۸۰۰ تن در ساعت می‌باشد). مدت زمان مورد نیاز برای بارگیری و تخلیه گوگرد مایع در مورد شناورهای به ظرفیت ۲۵۰۰ تن حدود ۶ ساعت است.

همچنین حمل و نقل گوگرد مایع با کشتی های ۲۰ هزار تنی تا ۳۰ هزار تنی با مخازن چند جداره[۱] انجام می‌گیرد که این مخازن نیز با بخار آب گرم می‌شوند. این کشتی ها دارای ساختار پیچیده‌ای بوده و جزء کشتی‌های خاص و تک کاربرده می باشند. شکل (۸-۴) نقشه یک کشتی طراحی شده برای حمل گوگرد مذاب را نشان می‌دهد.



شکل (۸-۴) نقشه کشتی حمل گوگرد مذاب

شکل (۹-۴) نمایی از این مخازن در حال بارگیری به کشتی را نشان می دهد.

شکل (۹-۴) تصویر مخزن کشتی حمل گوگرد مذاب

۵-۴- پمپ های گوگرد مذاب

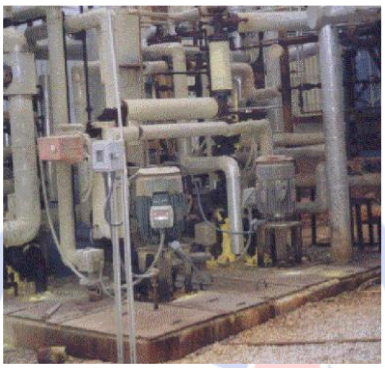
اصولا هر جا که گوگرد مذاب جابجا می شود، حضور حداقل یک پمپ ضروری است. عمده ترین فاکتور در پمپ کردن گوگرد مذاب، درجه حرارت می باشد. در واقع وابستگی ویسکوزیته مذاب به درجه حرارت باعث شده است که به هنگام انتقال گوگرد مذاب درجه حرارت بطور دقیق کنترل شود. در درجه حرارت های نزدیک ۱۶۰°C ویسکوزیته گوگرد به واسطه تغییرات ساختاری به طور شدیدی افزایش می یابد که اصطلاحا به این حالت Caramelisation می گویند.

لویس (Lewis) دمای ۱۳۸°C، معادل ۲/۵Kg/cm^2 بخار اشباع خشک را توصیه می کند. این سفارش بر اساس این واقعیت است که به هنگام عبور گوگرد مذاب از پمپ و به سبب وجود

اصطکاک درجه حرارت حدود ۱۵°C افزایش می یابد. اغلب پالایشگاهها امروزه بخار با جریان ۳/۵Kg/cm^2 در اختیار داشته و لذا به راحتی می توانند درجه حرارت فوق را محیا کنند.

گوگرد مذاب در دمای ۱۳۸°C ویسکوزیته ای معادل ۸cp دارد و با صرف نظر از ضریب تصحیح ویسکوزیته برای پمپ های سانتریفیوژی، جریان گوگرد مذاب داخل لوله ها مشابه جریان آب خواهد بود.

گفته شده است که از پمپ های سانتریفیوژی عمودی (Vertical Single Stage Centrifugal) دارای یک لوله تخلیه مجزا برای پمپ کردن گوگرد مذاب مناسب است. شکل (۱۰-۴) نمایی از چنین پمپ هایی را نشان می دهد.



شکل (۱۰-۴) نمایی از پمپ مخصوص گوگرد مذاب

از نظر مکانیکی، این پمپ طوری طراحی شده تا گوگرد مذاب با چگالی ویژه ۱/۸ به راحتی پمپ شود. بطور کلی همه پمپ های لویس برای گوگرد مذاب با این چگالی ویژه طراحی شده و دارای مشخصه های زیر هستند:

- طول پمپ: تا ۲۱۵۰ میلیمتر
- سرعت جریان: ۳۴۰ m^3/h
- هد پمپ : ۹۰ متر
- ماکزیمم سرعت موتور: ۱۷۷۵ rpm
- جنس استاندارد پمپ : کربن استیل (از جنس استنلس استیل ۳۱۶L نیز استفاده می شود)

۶-۴- قوانین بین المللی جهت حمل و نقل گوگرد مذاب

۱-۶-۴- مقررات ایمنی

نظر به خطرات احتمالی در هنگام حمل و نقل گوگرد مذاب، یکی از وظایف افرادی که در مراحل حمل و نقل، ذخیره سازی و خریداری این ترکیب درگیر هستند آشنایی با قوانین و مقررات بین المللی موجود در حمل و نقل و نگهداری آن می باشد.

مرکز اطلاعات و هماهنگی های حمل و نقل آلبرتا یکی از مراکزی است که می تواند داده ها و اطلاعات لازم و دقیق در این زمینه را طی ۲۴ ساعت شبانه روز فراهم نماید.

قبل از پرداختن به جزئیات، دانستن مطالب زیر برای افرادی که در بخش دریانوردی، حمل و نقل و فروش و خریداری گوگرد مذاب فعالیت دارند لازم می باشد.

- حمل و نقل و نگهداری گوگرد مذاب در وسائل حمل و نقل عمومی مانند اتوبوس، قطار و ... ممنوع می باشد.
- آماده سازی اسناد و مدارک لازم در هنگام حمل و نقل توسط فرستنده گوگرد مذاب (بارنامه هایی که در این موارد جهت کشتی ها لازم است همانند بارنامه های معمولی است با این تفاوت که در این موارد ذکر خطرات احتمالی در بارنامه ضروری می باشد. حضور این مدارک در سرتاسر سفر به همراه حمل کننده کالا ضروری می باشد در این گونه موارد نگه داشتن یک کپی از مدارک و اسناد مربوطه توسط ارسال کننده و هر مسئول حمل و نقلی به مدت ۲ سال ضروری می باشد)

نمونه ای از حداقل اسنادی که حتما بایستی در مدارک حمل و نقل گوگرد مذاب ذکر شود به شرح ذیل می باشد:

۱) تاریخ

۲) نام و آدرس فرستنده کالا

۳) توصیف کالای خطرناک (گوگرد مذاب) همانند بخش زیر:

الف) نام محموله کشتی (در اینجا گوگرد مذاب)

ب) رده بندی اولیه: ۴/۱ (primary classification)

ج) شماره استاندارد UN (UN2448)

د) گروه بسته بندی (Packing Group):III

ه) مقدار محموله بر حسب سیستم واحد اندازه گیری SI

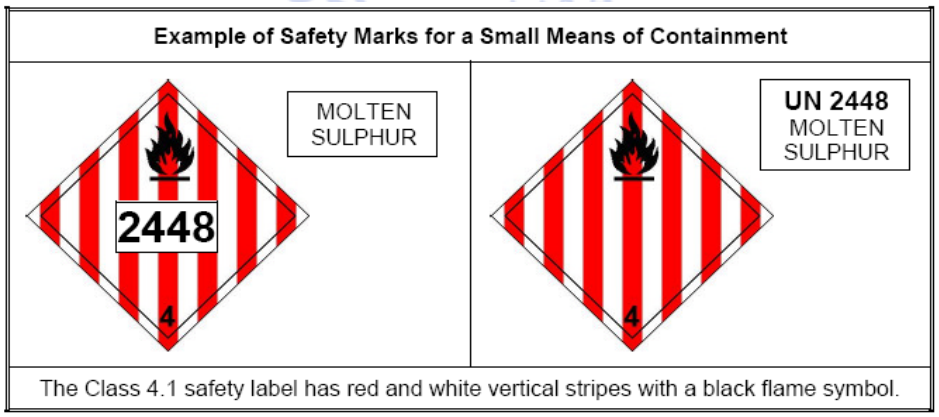
و) تعداد کانتینرهای موجود در کشتی

ی) حتما یک شماره تلفن ۲۴ ساعته از ارسال کننده کالا در زیر قسمت مخصوص درج شماره تلفنها ذکر شود.

۲-۶-۴- علائم ایمنی

این علامتها، شامل نشانه ها، پلاکاردها، اعداد UN و علائم بسته بندی هستند که بر روی کالا نصب می شوند. توضیحات و اطلاعات لازم در این زمینه در بخش ۴ قوانین و مقررات حمل و نقل کالاهای خطرناک (TDG) موجود می باشد. ارسال کننده کالا موظف است بر روی تمامی کانتینرها و بسته ها این علائم را الصاق نماید. از دیگر وظایف ارسال کننده کالا تغییر دادن علائم ایمنی در صورت تغییر مقررات بین المللی در حین انتقال گوگرد مذاب می باشد.

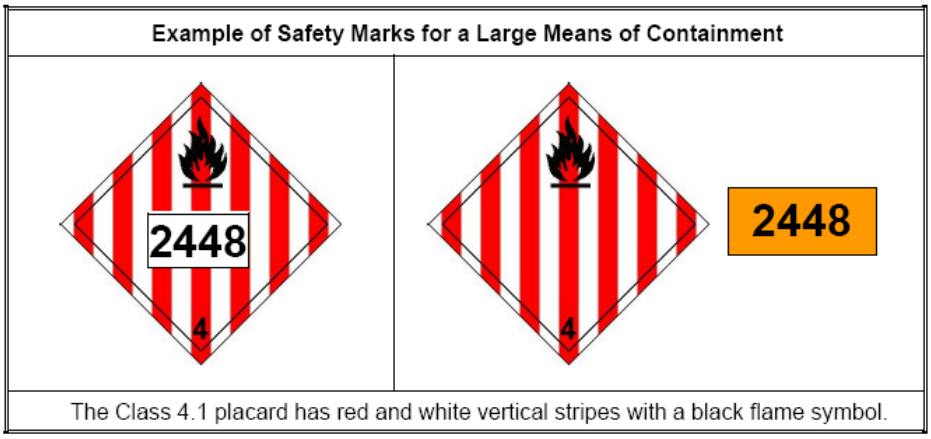
محموله های کوچک: د محموله های کوچک به محموله های گفته می شود که ظرفیت آن معادل ۴۵۰ لیتر یا کمتر باشد. در این موارد بر روی این کالاها برچسب های کوچکی نصب می شود که ذکر اطلاعاتی مانند عدد UN و نام محموله کشتی (shipping name) الزامی می باشد. این برچسبها معمولا در ابعاد۱۰ × ۱۰ سانتی متر تهیه می شوند. در مواردی که محموله کانتینر خیلی کوچک باشد یا اینکه محموله شکل منظمی نداشته باشد، گاها اندازه این برچسبها تا ۳ سانتی متر نیز کاهش می یابد. در اینگونه موارد اطلاعات مربوط به عدد UN و نام محموله بر روی برچسب ضمیمه شده بر روی کالا نیز می تواند نصب گردد. در شکل (۱۱-۴) دو نوع فرمت متفاوت برای اینگونه موارد ذکر شده است.



شکل (۱۱-۴) نمونه ای از علائم ایمنی قابل قبول برای حمل محموله های کوچک گوگرد مذاب

محموله های بزرگ: محموله هایی که ظرفیت بالاتر از ۴۵۰ لیتر را داشته باشند در قالب محموله های بزرگ قرار می گیرند. پلاکاردهایی که در اینگونه موارد نصب می شوند دارای ابعاد ۲۵×۲۵ سانتی متری می باشند. در مورد گوگرد مذاب معمولا اینگونه برچسب ها در مواردی نصب می شوند که وزن ناخالصی محموله بیش از ۵۰۰ کیلوگرم باشد. این برچسب ها بایستی در چهار سمت محموله نصب شوند. گاها اینگونه برچسب ها می توانند در قسمت جلوی تریلر نصب شود.

عدد UN در اینگونه موارد می تواند در داخل پلاکارد و یا داخل مستطیل نارنجی رنگی سمت راست پلاکارد نصب شود. نمونه ای از اینگونه برچسب ها در شکل (۱۲-۴) نمایش داده شده است.



شکل (۱۲-۴) نمونه ای از علائم ایمنی قابل قبول برای حمل محموله های بزرگ گوگرد مذاب

۳-۶-۴- دوره های آموزشی

شرکت در دوره های آموزشی آشنایی با گوگرد مذاب، حمل و نقل و نگهداری آن و خطرات احتمالی ناشی از بی توجهی و سایر نکات ایمنی برای افرادی که به طور مداوم با حمل و نقل و ذخیره سازی گوگرد مذاب سروکار دارند الزامی است. در همین رابطه افرادی که در دوره های فوق شرکت نکرده اند بایستی مستقیما زیر نظر اشخاصی که دوره را با موفقیت پشت سر گذاشته اند شروع به کار نمایند. لازم به ذکر است که گواهینامه های آموزشی مربوطه فقط زمانی به شرکت کنندگان ارایه می شود که مدیران ذیصلاح از یادگیری و آموزش آنها اطمینان لازم را پیدا کرده و نیز نمره لازم را از آزمونهای برگزار شده کسب نموده باشند. در اینگونه موارد کارفرمایان باید نتایج

حاصل و کپی مدارک را نزد خود ثبت و نگهداری نمایند تا در مواقعی که بازرسان مربوطه مراجعه می نمایند جهت ارایه نمایش داده شوند.

۷-۴- تانکرهای استاندارد حمل گوگرد مذاب

تانکرها و ظروفی که جهت انتقال گوگرد مذاب به کار گرفته می شوند لازم است که یکسری استانداردهای لازم را دارا باشند که در بخش زیر به طور مختصر به برخی از آنها اشاره می کنیم:

۱) تانکرهای مناسب جهت حمل گوگرد مذاب از انواع TC 407، TC 412 و یا TC 331 می باشند که دارای قابلیت کارکرد در فشارهای حدود 276Kpa می باشند.

۲) اجازه نفوذ باران و یا رطوبت را به محتوی داخل تانکر ندهند.

۳) اجازه ورود گرد و غبار و سایر اجزا خارجی را به داخل نداده و شرایط مناسبی جهت حمل و نقل استاندارد گوگرد مذاب فراهم نمایند.

۴) اجزا سازنده تانکرها باید از ترکیباتی باشند که نفوذناپذیر بوده و مقاومت خوبی در برابر خوردگی از خود نشان دهند.

۵) به راحتی قابل نظافت و پاکیزه سازی پس از استفاده باشند

۶) تاب تحمل فشارهای داخلی ناشی از موارد را داشته باشند.

۷) مناسب برای حمل و نقل ترکیبات داغ باشند.

۸) به مرور بر اثر حمل گوگرد مذاب تخریب نشوند.

۸-۴- انبارش گوگرد مذاب

برای انبارش موقت گوگرد مذاب می توان از پیت های گوگردی و یا مخازن فلزی استفاده کرد. پیت‌های گوگردی در واقع سازه‌های سیمانی هستند که در داخل زمین قرار دارند و مجهز به سیستم‌های گرمایشی بخار هستند. روی این پیت‌ها با ورقه ای از جنس کربن استیل مسقف شده تا از ورود آلودگی به آن جلوگیری شود.

با اصلاح جزئی در ساخت پیت ها می‌توان از بخشی از آن برای ذوب گوگردجامد استفاده کرد. برای این منظور توسط دیواره ای این بخش جدا می‌شود به نحوی که گوگرد ذوب شده از بالای دیواره به سمت بخش ذخیره سازی جریان پیدا می‌کند و گوگرد جامد ذوب نشده در ته آن نشت

می‌کند و اجازه ورود به بخش را نخواهد داشت. در صورت ورود گوگرد جامد به بخش نگهداری ممکن است راه پمپ نشده و مزاحمت ایجاد نماید.

اندازه و حجم این پیت‌ها بر اساس میزان تولید گوگرد واحد، میزان بارگیری کشتی، کیفیت و ظرفیت واحد دانه بندی بستگی دارد. البته عمق این پیت‌ها باید به گونه ای باشد که عملکرد پمپ‌ها دچار مشکل نشود. روی پیت‌ها معمولا از یک سیستم استفاده می‌شود تا به تناوب سطح گوگرد مذاب در داخل آن اندازه گیری شود. البته بر روی سقف آن نیز محل مناسبی برای عمق سنجی دستی می‌تواند وجود داشته باشد. پمپ‌ها معمولا بر روی پایه‌های مناسب و روی سقف پیت‌ها قرار دارد. از هیترهای بخار نیز برای نگهداری گوگرد به شکل مذاب استفاده می‌شود.

تانک‌های ذخیره عموما استوانه‌های عمودی از جنس کربن استیل هستند که بالای زمین قرار می‌گیرند و توسط عایق خاص ایزوله می‌شوند. به منظور گرم نگه داشتن گوگرد در این تانک‌ها از کویل‌های بخار استفاده می‌شود.

طراحی و اندازه تانک ذخیره توسط فاکتورهای زیر مشخص می‌شود:

ـ ظرفیت تولید واحد بازیافت گوگرد

ـ ظرفیت کشتی (Shipment Size) یا ظرفیت بارگیری به کشتی

ـ کیفیت گوگرد

ـ شکلی که گوگرد به سایت تحویل داده می‌شود.

معمولا برای جلوگیری از اتلاف انرژی در تانک، جداره خارجی آن را با عایقی به ضخامت ۵۰mm (۲ اینچ) عایقبندی می‌کنند. برای منظور از عایق پشم شیشه برای عایق بندی جداره‌ها و از عایق کلسیم سیلیکات برای عایق بندی سقف استفاده می‌کنند.

سایر تجهیزات مورد نیاز تانک عبارتند از:

ـ دستگاه اندازه گیری سطح مذاب

ـ خروجی روی سقف تانک برای خارج ساختن H_2S جمع شده روی تانک با هوا (دودکش خروجی (Vent) باید به نوعی گرم شود تا گوگرد در آن رامب نشود)

ـ وجود یک خروجی برای اطمینان از مرحله پر کردن تانک (چنانچه به هنگام پر کردن تانک مقادیر زیادی گوگرد مذاب وارد شود اضافی آن از محل Over flow به پیت بر می‌گردد. البته می‌توان به مکان‌های دیگر نیز منتقل شود و سپس گوگرد جامد را به سیستم بر می‌گردانند)

همانطور که قبلا گفته شد پمپ‌ها در بالای سقف تانک قرار می‌گیرد. ولیکن جهت تخلیه پمپ می‌تواند در پایین تانک نیز باشد.

۹-۴- پایانه های بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب

یکی از ملزومات عرضه گوگرد به شکل مذاب، فراهم آوردن مخازن مناسب جهت دریافت، نگهداری و فروش تدریجی آن به مشتریان می‌باشد. در محل مصرف بهترین شکل نگهداری گوگرد مایع، مخازن سیمانی با ورقه ای از آستر آلومینیومی و یا فولاد ضد زنگ می باشد.

پایانه های بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب نیازمند امکانات و تجهیزات ویژه‌ای می‌باشند. در شکل (۱۳-۴) نمایی از دو پایانه بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب که دارای مخازن مناسب جهت دریافت و نگهداری گوگرد مایع می‌باشد به تصویر کشیده شده است.

شکل (۱۳-۴) نمایی از پایانه های بارگیری و تخلیه گوگرد مذاب

انجمن مهندسی گاز ایران