

زدایش جیوه از جریان‌های گاز طبیعی و مایع

نوشته‌ی: Giacomo Corvini, Julie Stiltner & Keith Clark

برگردان: مهندس امیر سعیدی

جیوه معمولاً در گاز طبیعی، جریان‌های پتروشیمی و برخی خوراک‌های پالایشگاه‌ها وجود دارد. به تازگی پیشرفت‌های قابل توجهی در آنالیز مقادیر پایین جیوه به دست آمده است که به ردیابی جیوه در این جریان‌های هیدروکربنی کمک می‌نماید. مشخص شده است که جیوه به مبدل‌های حرارتی آلومینیومی به شدت صدمه می‌رساند و بنابراین زدایش آن بسیار مطلوب خواهد بود. ماده‌ی جاذب سطحی قابل احیای زدایش جیوه با نام HgSIV™، نه تنها باعث خشک کردن جریان‌های فوق می‌شود، بلکه جیوه را نیز تا کمتر از ۰/۰۱ میکروگرم در متر مکعب کاهش می‌دهد. از آنجایی که نقاط جذب برای زدایش جیوه از نقاط جذب رطوبت جدا هستند، زدایش جیوه می‌تواند با جایگزین کردن بخشی از صافی مولکولی رطوبت‌زدا با ماده‌ی جاذب سطحی HgSIV حاصل شود. لازم نیست اندازه‌ی بستر خشک‌کننده برای زدایش آب و جیوه افزایش یابد. خشک‌کننده‌های جریان در فرآیندهای هیدروکربن که حاوی مواد جاذب سطحی HgSIV هستند، عملکرد و عمری مشابه خشک‌کننده‌های صافی مولکولی معمولی دارند. جیوه در دمای احیای خشک‌کننده‌های معمولی، به طور کامل از مواد جاذب سطحی HgSIV جدا می‌شود.



است که نتوان آن را با قابلیت‌های آنالیز فعلی ردیابی نمود. در حال حاضر، این امر به معنای کاهش مقدار جیوه تا کمتر از ۰/۰۱ میکروگرم در متر مکعب است که تقریباً معادل یک قسمت در تریلیون از نظر حجمی می‌باشد. دلیل دیگری که برای زدایش جیوه وجود دارد، تولید جریان‌های محصول عاری از جیوه است. اگر اتان یا پروپان به‌عنوان خوراک در یک تاسیسات اتیلن به‌کار رود، برای اجتناب از بروز مشکل در مبدل‌های حرارتی و غیرفعال شدن کاتالیست‌ها در تاسیسات اتیلن باید جیوه را حذف نمود. جیوه در گاز طبیعی، عمدتاً به شکل جیوه‌ی عنصری به چشم می‌خورد. اما از لحاظ نظری، جیوه می‌تواند به شکل ترکیبات معدنی (مانند $HgCl_2$)، ترکیبات آلی (مانند CH_3HgCH_3 یا $C_2H_5HgC_2H_5$) و یا ترکیبات آلی - یونی (مانند $ClHgCH_3$) نیز در جریان گاز وجود داشته باشد. روش‌هایی برای آنالیز نمونه‌های مایع مانند نفت‌ها و کندانس‌های گاز طبیعی به تازگی ابداع شده‌اند. هنوز اطلاعات دقیقی وجود ندارد که مشخص سازد جیوه چگونه هنگامی که یک جریان مایع مانند کندانسه‌ی گاز طبیعی دچار شکنش^۱ می‌گردد، در آن توزیع می‌شود. اما نکته‌های زیر هنگام بررسی یک تاسیسات گاز طبیعی به‌دست آمده‌اند: گاز طبیعی از یک جداکننده‌ی ورودی تاسیسات اندازه‌گیری شده و سپس مایع مذکور مورد آنالیز قرار گرفت. از آنجایی که این جداکننده تحت فشار بوده و آنالیز جیوه

مواد جاذب سطحی $HgSIV$ که به شکل مناسبی احیا شده باشند می‌توانند به شکل ضایعات بی‌خطر دفع شوند. هنگامی که مقدار جیوه در گاز خوراک بالا باشد، می‌تواند توسط عمل چگالش از گاز احیاکننده، جدا شود. معمولاً پردازش گاز احیاکننده‌ی مصرف شده برای $HgSIV$ در مقادیر پایین یا متوسط جیوه در گاز خوراک لازم نخواهد بود. این مقاله، همچنین در مورد راهبردهای فرآیندی برای زدایش جیوه از گاز احیاکننده‌ی صرف شده برای مواد جاذب سطحی $HgSIV$ به بحث می‌پردازد.

جیوه در طبیعت و همچنین در اغلب جریان‌های گاز طبیعی در مقادیر مختلف وجود دارد. طبق تجربه‌های اخیر، مقدار جیوه در گاز طبیعی کمتر از مقادیر قابل ردیابی تا حدود ۱۲۰ میکروگرم بر متر مکعب گاز متغیر است. دلیل اصلی زدایش جیوه از گاز طبیعی، حفاظت از مبدل‌های حرارتی آلومینیومی پایین دست، مانند مبدل‌هایی که در تاسیسات بازیافت کرایوژنیک هیدروکربن در گاز طبیعی و در تاسیسات مایع‌سازی گاز طبیعی وجود دارند، می‌باشد. جیوه باعث مشکلاتی جدی در مبدل‌های آلومینیومی شده است. این ماده با آلومینیوم به شکل ملغمه در آمده و باعث اشکالات مکانیکی و نشستی گاز می‌شود. از آنجایی که مقدار مجاز جیوه به شکلی شفاف تعیین نشده است، اغلب اپراتورها ترجیح می‌دهند هیچ جیوه‌ای در سیستم وجود نداشته باشد. این امر به معنای زدایش جیوه تا مقداری



تحت شرایط اتمسفریک انجام شد، بخشی از مایع در زمان نمونه‌برداری به صورت بخار فلاش درآمد. با ابداع روش‌های مناسب، این امکان ایجاد شد که مایع باقی‌مانده و گاز فلاش که عمدتاً از هیدروکربن‌های C_2 تا C_5 تشکیل شده بود، مورد آنالیز قرار گیرند. نتایج زیر از این آزمایش به دست آمده است: (جدول ۱). در نتیجه، بخش عمده‌ی جیوه در جریان LPG و مقدار کمتری نیز در بخش C_5+ وجود خواهد داشت.

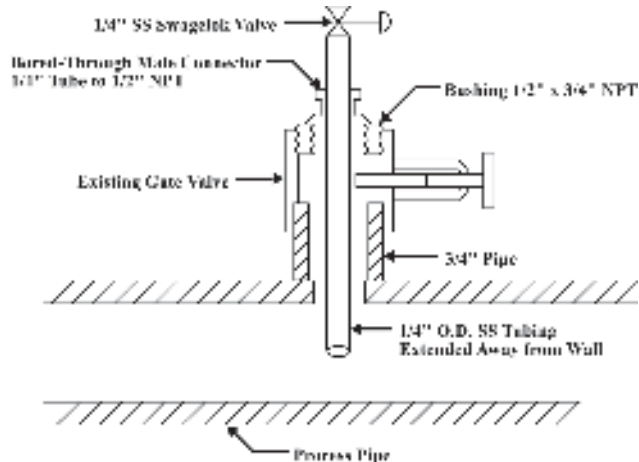
آنالیز و نمونه‌برداری

وقتی که مقدار جیوه تا این حد پایین باشد، انجام آنالیزهای دقیق نیازمند بالاترین میزان دقت خواهد بود. در شرایط ایده‌آل، گرفتن یک نمونه‌ی مناسب از یک خط فرآیند مستلزم به‌کارگیری یک پروب نمونه‌برداری خاص مانند آنچه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، خواهد بود. حتی وجود مقدار جزئی ذرات جامد در سیستم نمونه‌برداری می‌تواند بر روی قرائت‌های انجام شده به مدتی طولانی تأثیر بگذارد. تعدادی از آنالیزکننده‌ها در این رابطه قابل دسترسی می‌باشند. تمام این آنالیزکننده‌ها از یک تله‌ی سطحی از جنس طلا برای تغلیظ جیوه از جریان نمونه استفاده می‌کنند. این تله‌ها در مرحله بعدی با اعمال حرارت جیوه را آزاد کرده و ذرات جیوه به داخل آنالیزکننده فرستاده می‌شوند که در آن، ردیاب دستگاه مقدار جیوه را تعیین می‌نماید. بهترین فناوری برای آنالیز مقادیر پایین جیوه، طیف‌سنجی فلوروسنت اتمی بخار سرد (CVAFS) است، اما اندازه‌ی این دستگاه، استفاده از آن را در آزمایشگاه محدود می‌نماید. روش نمونه‌برداری در این تکنیک مانند روش‌های دیگر آنالیز جیوه از اهمیت بالایی برخوردار بوده و با تمریناتی در جریان‌های گاز هیدروکربنی بهینه شده است. در حال حاضر می‌توان غلظت جیوه را در محل تاسیسات تا میزان قابل ردیابی 0.1 میکروگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری نمود. مزیت این روش برای پردازشگر گاز این است که هر نمونه می‌تواند در طول چند ساعت جمع‌آوری و آنالیز شده و این کار مانند گذشته که در خارج از محل تاسیسات چند روز یا حتی بیشتر طول می‌کشید، زمان نمی‌برد. قبل از این که گروه آنالیزکننده به محل اعزام شوند، میزان جیوه در یک جریان پردازش شده یا پردازش نشده مشخص می‌شود. این اطلاعات می‌تواند مشخص سازد که آیا جریان‌های مذکور نیاز به پردازش

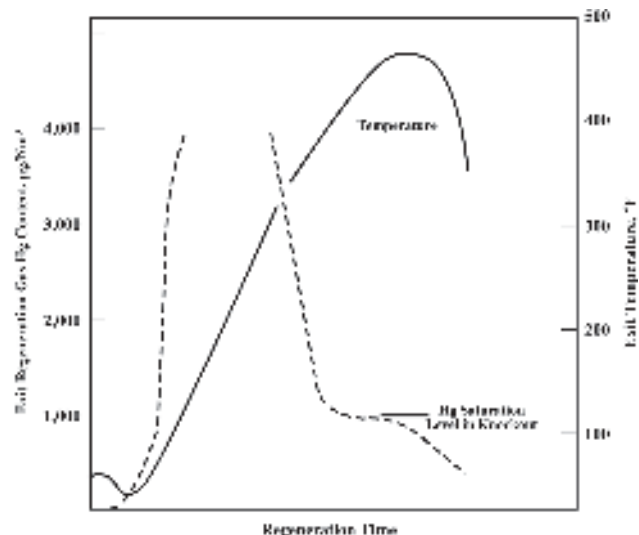
جدول (۱)

	ppb wt.	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
Gas from Separator	4.1	3.5
Flash Gas	9.0	
Liquid	3.0	

شکل (۱) آرایش نقطه‌ی نمونه‌برداری برای آنالیز جیوه



شکل (۲) مشخصه‌ی آزاد شدن جیوه از یک خشک‌کننده‌ی گاز طبیعی با استفاده از مواد جاذب سطحی HgSIV



جدول (۲) خالص سازی گاز طبیعی

Feed Rate, MM SCFD	283
Temperature, °F	64
Pressure, psig	600
Inlet Impurity	
H ₂ O, lb/MM SCF	Saturated
Hg, µg/Nm ³	25 to 50
Product Gas Purity	
H ₂ O, ppmv	<0.1
Hg, µg/Nm ³	<0.01

جدول (۳) خالص سازی گاز طبیعی مایع شده

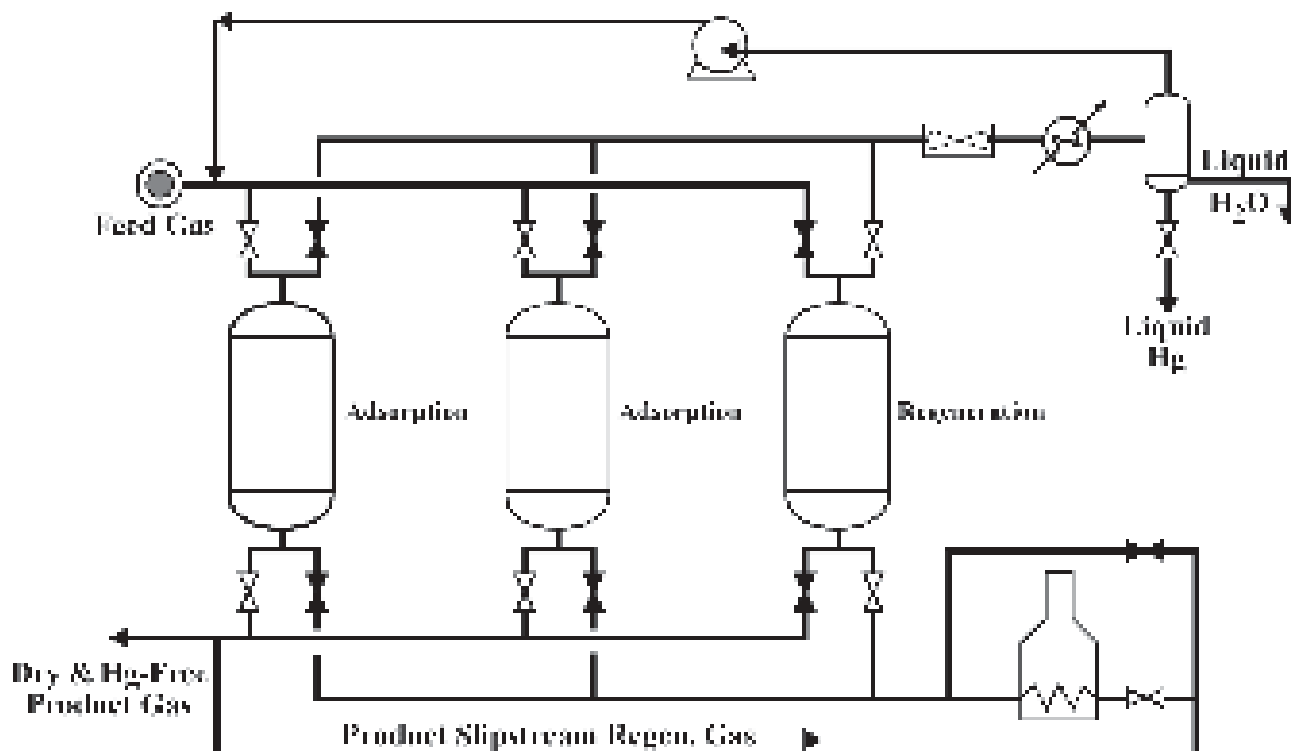
Feed Liquid	Natural Gas Liquids MW = 62 20°C 4.2 bar G H ₂ O Saturated Hg 2 ppbw (equivalent to 4 µg/Nm ³ in vaporized stream)
Product Liquid	H ₂ O less than 1.0 ppbw Hg less than 0.02 ppbw (equivalent to less than 0.04 µg/Nm ³ in vaporized stream)

برای جیوه دارند یا خیر و همچنین تایید می کند که سیستم زدایش جیوهی موجود طبق شرایط طراحی عمل می نماید.

مواد جاذب سطحی HgSIV

مواد جاذب سطحی HgSIV برای زدایش موثر جیوه در سیستم های جذب سطحی صافی مولکولی موجود طراحی شده اند. از آنجایی که تاسیسات کرایوژنیک نیاز به جریان های ورودی خشک دارند، خشک کننده های صافی مولکولی در اغلب تاسیسات با بازیافت مایع گاز طبیعی در حال حاضر وجود دارند. مواد جاذب سطحی HgSIV محصولات صافی مولکولی هستند که در سطح خارجی قرص یا دانه های صافی مولکولی، حاوی نقره می باشند. جیوهی موجود در سیال فرآیند (گاز یا مایع) با نقره تشکیل ملغمه داده و بدین ترتیب، یک سیال فرآیند خشک و عاری از جیوه حاصل می گردد. اضافه کردن یک لایه از مواد جاذب سطحی HgSIV به یک خشک کننده باعث زدایش بار آب در نظر گرفته شده در طراحی و همچنین جیوه، بدون نیاز به یک خشک کنندهی بزرگ تر خواهد شد. جیوه و آب با استفاده از روش های معمول خشک کنندهی گاز می توانند از مواد جاذب سطحی HgSIV احیا گردند. مواد جاذب سطحی HgSIV از نظر فیزیکی ظاهری شبیه به صافی های مولکولی معمولی دارند. این مواد به شکل دانه ای یا قرصی شکل قابل دسترس هستند. این مواد جاذب سطحی HgSIV همانند صافی های مولکولی معمولی داخل مخزن جذب بارگیری می شوند. نیازی به مراقبت های ویژه مانند استفاده از پوشش نیتروژن هنگام نصب نیست. برای تخلیهی این مواد، تنها اقدامات احتیاطی مانند اقداماتی که هنگام

شکل (۳) طرحی از یک سیستم زدایش و بازیافت جیوه



تخلیه‌ی صافی‌های مولکولی معمولی لازم است، مورد نیاز خواهد بود. الزامات دفع این مواد نیز مانند صافی‌های مولکولی معمولی است، به شرط آن‌که این ماده قبل از تخلیه کاملاً احیا شود. آنالیز نمونه‌های تازه و مستعمل مواد جاذب سطحی HgSIV نشان داده است که این مواد می‌توانند آزمایش EPA-TCLP (رویه‌ی پالاییدن خواص سمی متعلق به سازمان حفاظت از محیط زیست امریکا) را با موفقیت پشت سر بگذارند. این مساله نشان می‌دهد که این مواد جاذب می‌توانند با روش‌های معمول به شکلی ایمن، دفع شوند.

تجربیات صنعتی

در حال حاضر مواد جاذب سطحی HgSIV در بیش از ۲۵ خشک‌کننده گاز و ۷ خشک‌کننده‌ی مایع نصب شده‌اند. این سیستم‌ها در نقاط مختلف جهان مانند خاور دور، خاورمیانه، افریقا، امریکای جنوبی و ایالات متحده امریکا قرار گرفته‌اند. عملکرد یک سیستم زدایش جیوه‌ی خشک‌کننده‌ی گاز طبیعی در جدول (۲) خلاصه شده است. محتوای جیوه‌ی گاز خوراک این سیستم بین ۲۵ تا ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب بوده است و مقدار جیوه در گاز طبیعی خشک شده، کمتر از سطح قابل ردیابی ۰/۰۱ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. عملکرد یک سیستم زدایش جیوه‌ی خشک‌کننده‌ی

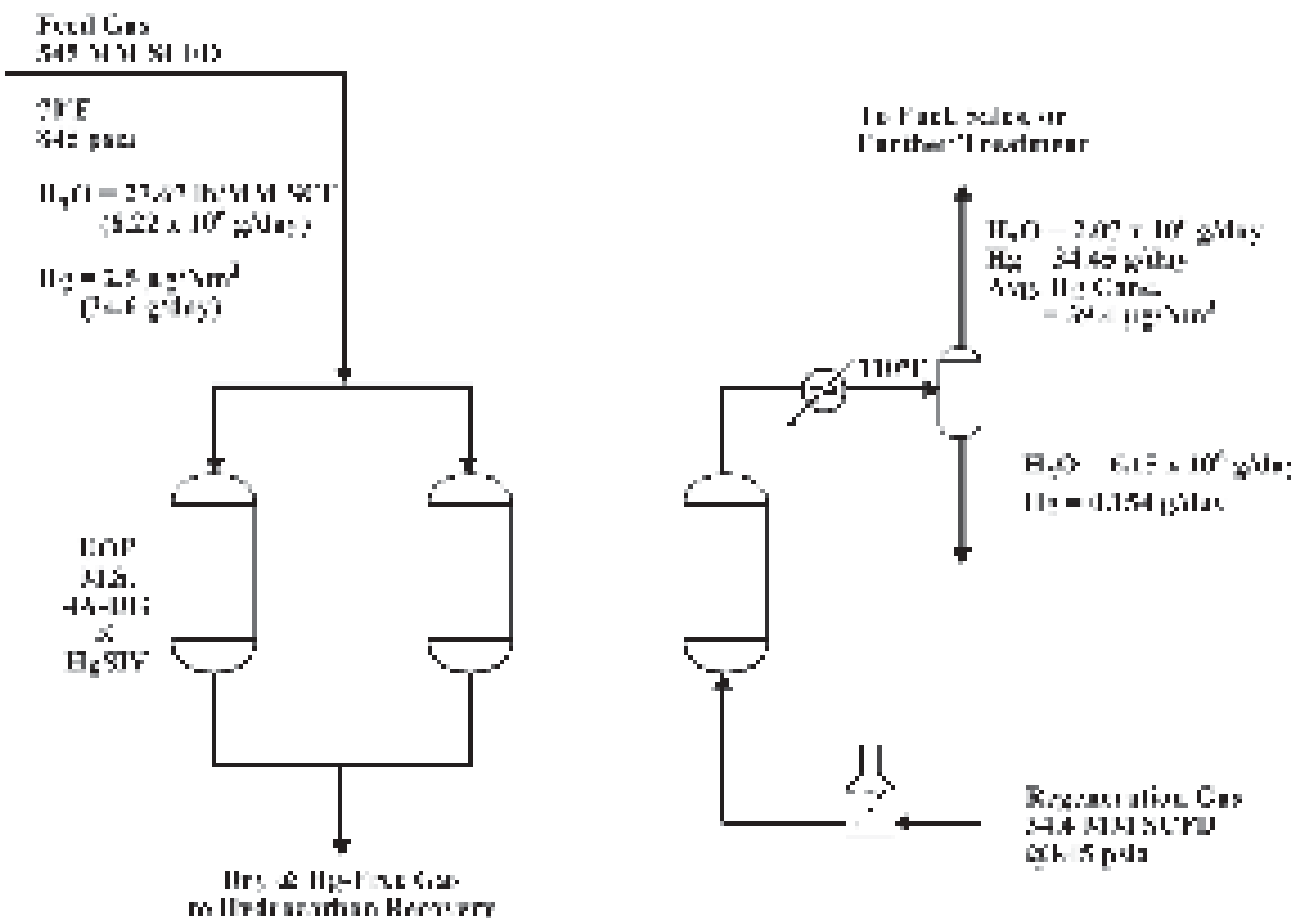
مایع نیز در جدول (۳) آمده است. در این سیستم، جیوه با غلظت 2 ppbw به کمتر از سطح قابل ردیابی 0.02 ppbw کاهش داده شده است. مشخصه‌ی دمای احیا برای سیستم زدایش جیوه‌ی خشک‌کننده‌ی گاز طبیعی که با محتوای جیوه‌ی بالا در خوراک یعنی حدود ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب کار می‌کند، در شکل (۲) نشان داده شده است. مشخصه‌ی آزادسازی جیوه نیز شبیه به مشخصه‌ی احیای آب معمولی است، به جز این نکته که قبل از این‌که دمای کامل احیا به دست آید، جیوه به‌طور کامل از ماده‌ی جاذب سطحی HgSIV زدوده می‌شود. در شرایط مخزن K/O، سطح اشباع جیوه در حدود ۱۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. اگر مقدار جیوه بالاتر از این مقدار باشد، چگالیده شده و به‌صورت جیوه‌ی مایع خالص بازیافت می‌گردد.

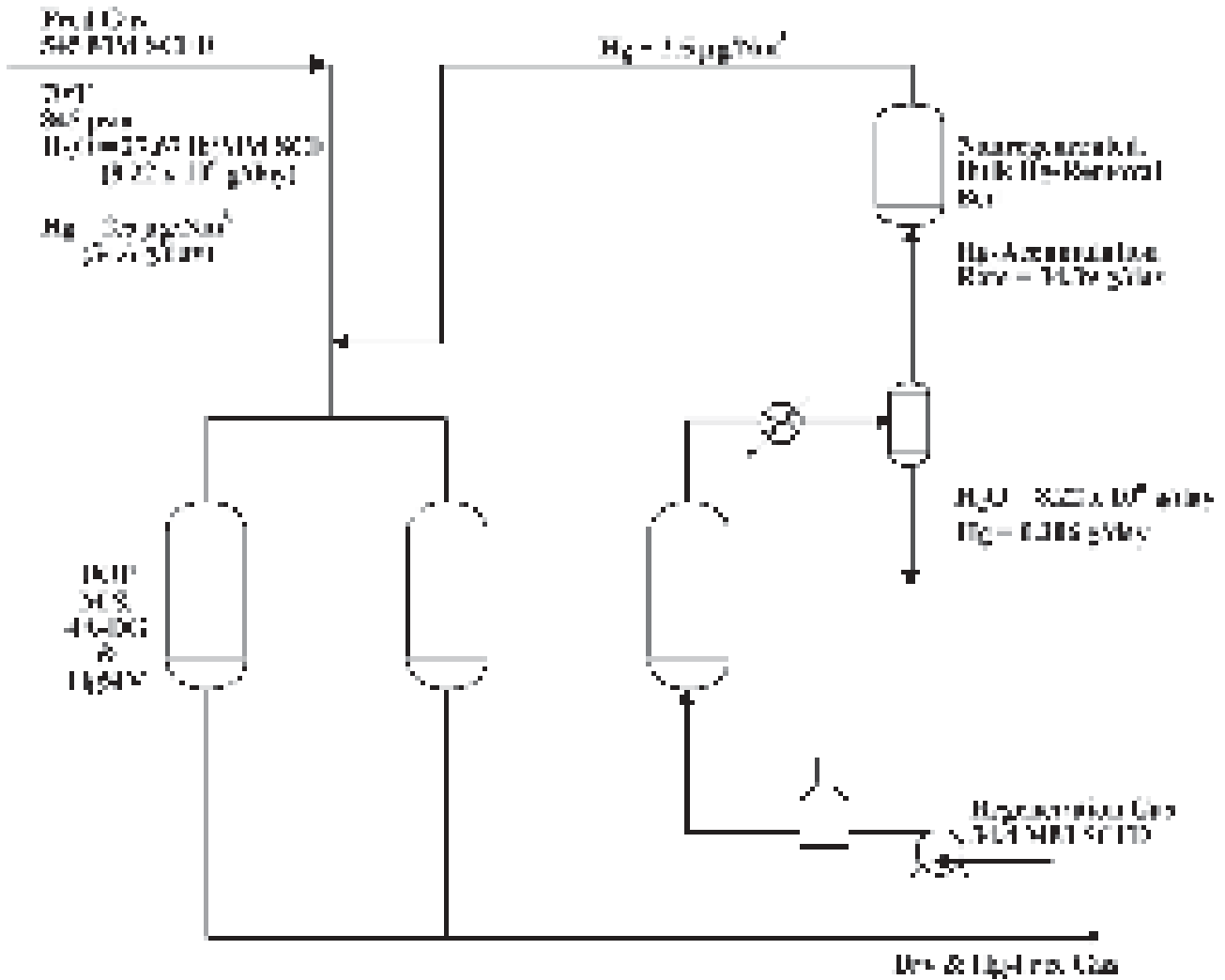
انتخاب‌های فرآیند

از آنجایی‌که محل‌های جذب قابل دسترس در هر چرخه دوباره فعال می‌شوند، زدایش جیوه با مواد جاذب سطحی HgSIV، بهترین حفاظت را برای مبدل‌های حرارتی آلومینیومی پایین‌دست و دیگر بخش‌های فرآیند تامین می‌نماید.

جذب سطحی

شکل(۴) زدایش جیوه بدون پردازش گاز احیای مصرف شده





شکل (۵) زدایش جیوه با پردازش گاز احیای مصرف شده



مواد جاذب سطحی HgSIV می‌توانند در یک سیستم خوداتکا و یا در ترکیب با بسترهای زدایش جیوه‌ی توده‌ای و غیراحیایی در حلقه‌ی گاز احیا مورد استفاده قرار گیرند. بسترهای جاذب سطحی غیر احیایی برای زدایش توده‌ی جیوه موثرند، اما اغلب برای زدایش کامل جیوه چندان مناسب نیستند. یک فرآیند خوداتکای HgSIV در شکل (۳) نمایش داده شده است. در این نوع فرآیند، جیوه از جریان خوراک زدوده شده، در نقطه‌ی احیا چگالیده شده و فرآیند را به شکل یک جریان مایع جداگانه ترک می‌کند.

موازنه‌ی مواد

موازنه‌ی مورد انتظار جیوه در یک تاسیسات گاز طبیعی در شکل (۴) نشان داده شده است. در خشک کردن و زدایش جیوه از گاز طبیعی، مقدار کمی جیوه همراه با آب احیا شده و چگالش یافته خواهد بود. جیوه در این شرایط، حلالیت بسیار کمی در آب دارد. مدارک موجود نشان داده‌اند که



نیاز است. اول این که، جریان گاز احیا از نظر حجمی بسیار کمتر از جریان فرآیند است. دوم این که، تنها زدایش توده‌ای جیوه مورد نیاز است. نیازی نیست که غلظت جیوه به کمتر از غلظت آن در گاز تغذیه کاهش داده شود. این امر بدین معناست که نگرانی در مورد محدود کردن ناحیه‌ی واکنش جیوه در بستر زدایش جیوه‌ی غیر احیایی لازم نیست. نقاط جذب در یک ماده‌ی جاذب غیر احیایی می‌تواند تا میزان بالاتری بارگیری شده و هزینه‌های جایگزینی مربوطه را کاهش دهد. هر چند روش‌های متنوعی برای زدایش جیوه از گاز احیا وجود دارد، اما تا امروز هیچ یک از شرکت‌های تولیدکننده‌ی گاز طبیعی که جیوه را مورد پردازش قرار می‌دهند، زدایش جیوه از این جریان را برنگزیده‌اند.

نتیجه‌گیری

به‌عنوان نتیجه‌گیری می‌توان گفت که مواد جاذب سطحی HgSIV در خشک‌کننده‌های صافی مولکولی موجود می‌تواند، جیوه را تا پایین‌تر از غلظتی که مواد جاذب غیر احیایی به‌دست می‌دهند زده و در عین حال، آب را نیز از جریان مورد نظر خارج کند. هزینه اولیه و افت فشار افزایش یافته‌ی مربوط به تجهیزات اضافی، در هنگام افزودن مواد جاذب سطحی HgSIV به فرآیند خشک‌کننده‌ی صافی مولکولی موجود، لازم نخواهد بود. تنها هزینه‌ی اضافی در این مورد، هزینه‌ی خود ماده‌ی مربوطه است. همچنین از نظر زیست محیطی نیز دفع این ماده‌ی جاذب بدون خطر خواهد بود.

پی‌نوشت:

1 - Fractionation

در یک محیط عاری از اکسیژن، حلالیت جیوه در آب تنها حدود 0.5 ppbw است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، کمتر از 0.5 درصد از جیوه‌ی ورودی همراه با آب چگالش یافته می‌باشد. این جیوه‌ی «فرار» می‌تواند با استفاده از یک ماده‌ی جاذب اختصاصی غیر احیایی، از آب چگالیده شده از بخش احیا زده شده شود. جیوه‌ی مایع جدا شده از بخش احیای جاذب سطحی HgSIV مستقیماً قابل فروش می‌باشد. موازنه‌ی جیوه همراه با گاز احیای صرف شده سیستم را ترک می‌نماید. در این مثال خشک کردن و خالص‌سازی 545 MM SCFD گاز که محتوی 2/5 میکروگرم جیوه در متر مکعب است، این مقدار تنها معادل حدود 34/5 گرم جیوه در روز خواهد بود. غلظت متوسط جیوه در گاز احیای مصرف شده در حدود 39/4 میکروگرم بر متر مکعب است. در اغلب موارد، گاز احیای مصرف شده با گاز پسماند تاسیسات به داخل جریان گاز محصول، مخلوط می‌گردد. این اختلاط، غلظت جیوه را تا جایی کاهش می‌دهد که به غلظت آن در گاز ورودی به تاسیسات نزدیک می‌شود.

پردازش گاز احیا

برای حفاظت از بخش‌های کرایونیک تاسیسات، تولید LPG عاری از جیوه و اجتناب از عبور جیوه به داخل سیستم سوخت و یا به داخل خط محصول، روش‌های متعددی وجود دارد. این روش‌ها از یک بستر کوچک از ماده جاذب سطحی زدایش جیوه‌ی غیر احیایی استفاده می‌کنند. این روش در شکل (۵) به نمایش درآمده است. در اینجا، گاز احیای مصرف شده، بعد از سرد شدن و عبور از یک جداکننده، از طریق یک ماده‌ی جاذب سطحی زدایش جیوه‌ی غیر احیایی مانند کربن فعال گوگرد دار فرستاده می‌شود. به دو دلیل، تنها یک بستر کوچک برای این کار مورد

« فرستنده: مریم فهار

www.irche.com

Iranian Chemical Engineers Website