

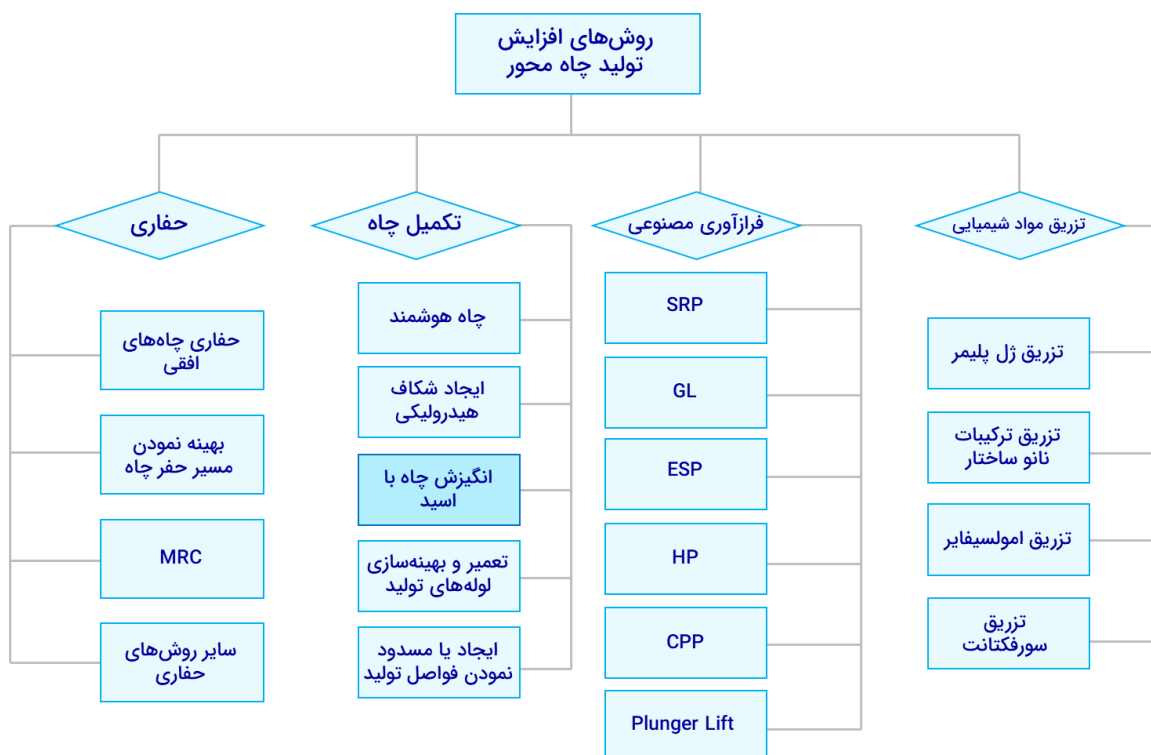


دستگاه سیلابزنی انحرافی اسید در مغزه

شرکت دانش بنیان پترو پژوهش اهورا

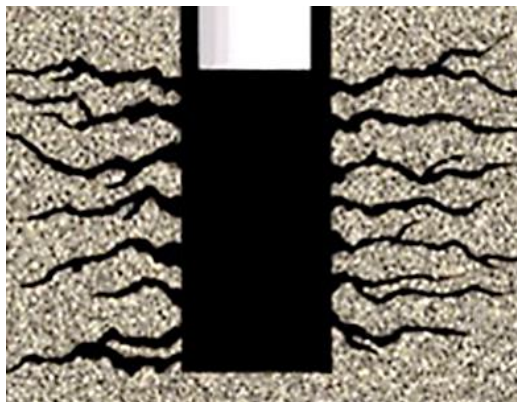
مقدمه

برداشت حداکثری و صیانتی از مخازن نفت و گاز نیازمند به کارگیری روش‌های نظام‌مند بهره‌برداری از این ذخائر ارزشمند هیدروکربوری است. بهبود عملکرد چاه و در نهایت بهبود بازیافت نفت (IOR) مستلزم بکارگیری روش‌هایی برای برطرف کردن مشکلات یا بهینه‌سازی موضوعات مرتبط با سه جزء اصلی سیستم تولید یعنی مخزن، چاه و تأسیسات سطح‌الارضی است. روش‌های بهبود عملکرد چاه که مربوط به این سه جزء اصلی می‌شوند، به ترتیب، روش‌های مخزن‌محور (همانند تزریق آب یا گاز به مخزن)، تأسیسات‌محور (همانند بهینه‌سازی تأسیسات نمک‌زدایی) و چاه‌محور (مانند فناوری حفاری و تکمیل چاه و فرازآوری مصنوعی) می‌باشند. وجه تمایز این روش‌ها در مدت زمان و هزینه لازم برای دستیابی به تولید بیشتر است. در این میان روش‌های چاه محور، دارای کمترین هزینه بوده و همزمان افزایش تولید قابل قبولی به ارمغان می‌آورند. شکل زیر روش‌های افزایش تولید چاه محور را نشان می‌دهد:

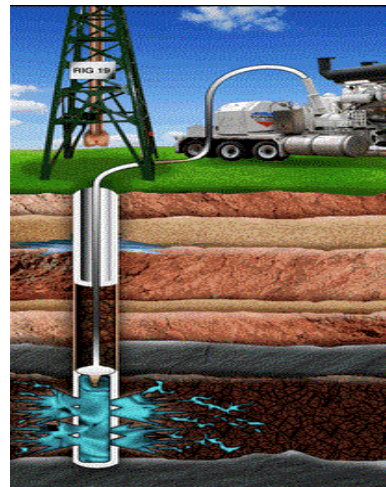


یکی از کارآمدترین روش‌های بهبود عملکرد چاه که در دسته روش‌های چاه محور قرار می‌گیرد، عملیات اسیدکاری است که می‌تواند هزینه و زمان برداشت نفت را کاهش داده و میزان بهره‌دهی چاه را بعضاً تا حدود ۵۰۰ درصد افزایش دهد. این عملیات برای رفع آسیب‌های سازند و افزایش نفوذپذیری مخازن به کار گرفته می‌شود. در حال حاضر شرایط اقتصادی ایجاب می‌کند بهره‌دهی چاه‌ها به حداکثر مقدار ممکن برسد و یکی از فعالیت‌های مهم و تأثیرگذار در این زمینه، تحریک چاه توسط اسید می‌باشد.

عملیات تحریک چاه پدیده جدیدی نیست و از گذشته‌های دور نیز به دلایل گوناگونی همواره به کار گرفته می‌شده. با حصول پیشرفت‌هایی در زمینه تحریک چاه، اسیدکاری ماتریس، شکاف‌زنی اسیدی و... این امکان را فراهم آورده است که ظرفیت تولیدی چاه‌ها به طور بهینه افزایش یابد. در میان تکنیک‌های تحریک چاه، عملیات اسیدکاری ماتریس گسترده‌ترین دامنه عملکرد را به خود اختصاص داده که یکی از دلایل آن پایین بودن هزینه‌های نسبی این عملیات در مقایسه با روش‌های دیگر از جمله ایجاد شکاف در سازند با اسید است. اسیدکاری ماتریس عبارت است از جریان اسید به درون منافذ و حفره‌های طبیعی سازند با فشاری کمتر از فشار ترک خوردن سنگ و هدف آن، افزایش نفوذپذیری و تخلخل سازند تولیدکننده نفت است.



عملیات اسیدکاری ماتریس سنگ



عملیات اسیدکاری به منظور تحریک طبقات تولیدکننده نفت و گاز با تزریق اسید به درون چاه صورت می‌پذیرد تا بخشی از طبقه را در خود حل کرده و مسیرهای جدیدی جهت تولید هیدروکربورها ایجاد کند (در سازندهای کربناته) و یا معابری که دچار آسیب شده و مسدود گشته‌اند را باز نماید (در سازندهای ماسه سنگی).

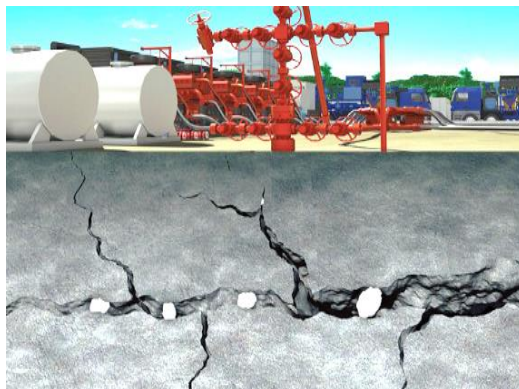
هدف از عملیات اسیدکاری چاه‌های نفت و گاز مشتمل بر احیا کردن چاه، باز کردن خلل و فرج، افزایش تولید، افزایش میزان نفوذ پذیری سنگ مخزن، تمیزکاری چاه و شستشو، تمیزسازی لوله‌ها، آزادسازی لوله‌های حفاری و به طور کلی کاهش ضریب پوسته است. روش‌های مختلفی برای رفع آسیب سازند و افزایش تولید از چاه وجود دارد که در این رابطه اسیدکاری در زمره قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده در صنعت نفت محسوب می‌شود. استفاده از روش‌های بهینه در اسیدکاری چاه‌ها اثرات خوبی در افزایش بهره‌دهی چاه‌های نفت و گاز به دنبال خواهد داشت.

مواد منحرف کننده جریان¹

یکی از مباحث مهم و پیچیده در عملیات اسیدکاری، مبحث مربوط به مواد منحرف کننده جریان است. این موضوع در چاههایی که دارای لایههایی با تراوایی ناهمگون هستند، اهمیت بیشتری پیدا می کند. اسید معمولاً جایی می رود که کمترین مقاومت وجود دارد. برای انجام عملیات اسیدکاری به صورت یکنواخت، طوری که اسید بتواند به صورت یکدست به حداکثر نقاط قابل دسترسی سنگ مخزن برسد، افزودنی هایی به آن اضافه می شود که به مواد مسدودکننده² موقتی یا منحرف کننده جریان معروف هستند. این مواد در حقیقت به طور موقت باعث مسدود شدن قسمت هایی که نفوذپذیری بیشتری در مقایسه با بخش های دیگر سازند دارند شده و بدین ترتیب مسیر جریانی اسید به سمت قسمت های دیگر سازند که تراوایی کمتری دارند منحرف می گردد و باعث باز شدن مسیر در آن ها و در نهایت بالا بردن نفوذپذیری سنگ مخزن می شود. این روش معمولاً وقتی ضخامت لایه بیش از ۳۰ فوت باشد، مورد استفاده قرار می گیرد. مواد زیر برای بستن موقتی لایه هایی با تراوایی بیشتر و در نهایت برای قرار دادن لایه های سخت در معرض اسید مورد استفاده قرار می گیرند:

- اسید بنزوئیک (به صورت پودری یا فلس)
- نمک غیرقابل حل در اسید
- اسید بنزوئیک + سنگ نمک با نسبت نصف به نصف
- دانه های کروی سرامیکی تو خالی
- دانه های پارافینی با نقطه ذوب مناسب
- مواد نفتالینی (برخی از آن ها محدودیت دمایی دارند)

مواد مذکور باید به گونه ای انتخاب شوند که فقط یک دیواره فیلمی ایجاد نمایند و از نفوذ آنها به داخل سازند جلوگیری شود. این مواد ضمن اینکه دیواره سازی برای لایه های پرتراوا را انجام می دهند، لازم است با سیال سازند همخوانی داشته باشند و در اثر جریان مواد هیدروکربوری از چاه خارج گردند.



استفاده از افزودنی های مسدود کننده موقت برای مسدود کردن بخش های پرتراوای سازند

¹ Diverting agents

² Bridging agents

معرفی دستگاه

سیلابزنی اسید به داخل مغزه یک روش منحصر به فرد بوده که اثرات اسیدکاری ماتریسی بر انواع مختلف سنگ را شبیه سازی می‌کند. پدیده انحراف همراه با فعل و انفعال اسید معدنی در طول سیلابزنی خطی مغزه می‌تواند برای شبیه‌سازی شرایط درمانی مختلف و مدل‌سازی جهت بهبود روش‌های اسید کاری تنظیم گردد. اسیدکاری خطی با سیلابزنی مغزه در آزمایشگاه برای فهم این فرآیند پیچیده بسیار مفید است.

اصول جریان در محیط متخلخل، سرعت واکنش‌ها و دیگر پدیده‌ها توسط انجام آزمایش جریان خطی اسید به داخل مغزه‌ها بازسازی شده و اجازه تهیه داده‌های آزمایشگاهی با کیفیت بالا را به ما می‌دهد که برای مدل‌های پتروفیزیکی، شبیه‌سازها و طراحی عملیات میدانی بسیار مناسب‌اند. به کمک دستگاه سیلابزنی مغزه با اسید مکانیسم جابه‌جایی اسید در درون مغزه‌های مخزنی مطالعه می‌شود تا بتوان بهترین سناریوهای تزریق اسید به جهت بهبود تراوایی به خصوص در سازندهای با تراوایی‌های ناهمگون را شبیه‌سازی کرد. سیلابزنی مغزه به فهم اسیدکاری ماتریسی در حوزه‌های مختلف به ما کمک می‌کند. مهمترین حوزه‌های مورد مطالعه عبارتند از:

- اطلاع از رشد و نفوذ کانال‌ها
- تعیین دبی تزریق بهینه
- عملکرد منحرف کننده‌ها
- انتخاب بهترین روش برای اسیدکاری

برای به دست آوردن کانال‌های عمیق، ۳ پارامتر مهم که قابل کنترل هستند عبارتند از: حجم سیال، دبی جریان سیال تزریقی و نوع سیال.

اهمیت حجم سیال از این جهت است که مقدار بیشتر سیال تزریقی منجر به نفوذ عمیق‌تر سیال و در نتیجه نفوذ عمیق‌تر کانال‌های به وجود آمده می‌شود.

وقتی اسید با دبی بسیار پایین تزریق می‌شود هیچ کانالی تشکیل نمی‌شود، اما اسید قسمتی از سنگ را حل می‌کند، در نتیجه شاهد پدیده‌ای به اسم حل‌شدگی دیواره‌ای^۳ هستیم. از سوی دیگر، هنگامی که اسید با یک دبی جریان بالا تزریق می‌شود، یک الگوی کانالی بسیار منشعب شکل خواهد گرفت که به عنوان کانال شاخه شاخه شده^۴ شناخته می‌شود. در واقع، با در نظر گرفتن حجم اسیدی که تزریق می‌شود، چیزی بین این دو سناریو، یک دبی تزریق بهینه خواهد بود که منجر به تشکیل کانالی عمیق در دورن سنگ می‌شود. دیگر فاکتورهای موثر بر تشکیل کانال، بستگی به نوع اسید و افزودنی‌های مورد استفاده در اسید کاری دارند.

سیستم سیلابزنی مغزه موازی^۵ در راستای شبیه‌سازی درمان‌های تحریک ماتریسی ایجاد شده است. آزمایش‌های جریان موازی مغزه شامل استفاده از منحرف‌کننده‌ها برای انحراف جریان اسید از یک مغزه با تراوایی بالا به مغزه کم تراوا می‌باشند.

³ Face dissolution

⁴ Ramified wormhole

⁵ Parallel core flood

نوآوری دستگاه

دستگاه سیلابزنی انحرافی اسید در مغزه ساخت پترو پژوهش اهورا امکان سیلابزنی موازی مغزه‌ها به صورت همزمان را فراهم کرده است. به این ترتیب امکان استفاده همزمان از دو نمونه سنگ مخزن یکی با تراوایی بالا و دیگری با تراوایی کم فراهم است تا شرایط هتروژنتی واقعی مخزن در ابعاد آزمایشگاهی به بهترین شکل ممکن شبیه‌سازی شود. مزیت این دستگاه در مقایسه با دستگاه‌های سنتی مطالعات اسیدکاری در این است که امکان مطالعه افزودنی‌های مسدود کننده موقت سنگ‌های پرتراوا و همزمان تزریق اسید به منظور هدایت درست و بهینه اسید به درون سنگ‌های کم‌تراوا فراهم شده است. این امکان کمک می‌کند سناریوهای تزریق به منظور جلوگیری از هرزروی اسید به درون سنگ‌های با تراوایی بالا در مخزن که اساساً نیازی به اسیدکاری ندارند مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد و از این طریق سناریوهایی به منظور افزایش عمق نفوذ بهینه اسید به درون نواحی کم تراوا برای افزایش تراوایی و تخلخل این نوع سنگ‌های کم تراوا در مخزن طراحی شود.

الزامات در طراحی

فشار

فشار پشتیبان⁶ ناکافی یک مشکل رایج در اسید کاری ماتریسی است. در طول اسید کاری، دی اکسید کربن تولید شده و تا هنگامی که فشار پشتیبان کافی به کار می‌رود، به صورت محلول باقی می‌ماند. بدون فشار پشتیبان کافی، دی اکسید کربن به فاز گازی تغییر حالت می‌دهد. تنظیم کننده فشار پشتیبان به منظور تأمین فشار تا ۶۰۰۰ پام به کمک یک منبع نیتروژن، طراحی شده است. سیستم جریان سیال برای حداکثر فشار ۶۰۰۰ پام بر اساس محدودیت‌های فشار شیر و لوله‌ها طراحی شده است. پمپ تزریق سیال نیز فشاری تا حداکثر ۷۵۰۰ پام را در خطوط جریان فراهم می‌کند. برای محدود کردن نمونه سنگ داخل نگهدارنده مغزه⁷ به فشار روباره⁸ نیاز داریم.

دما

در طول آزمایش‌ها برای مطابقت با شرایط مخزن، دما مورد نیاز است لذا تانک‌های انتقال سیال، نگهدارنده مغزه و رگلاتور فشار پشتیبان داخل آون قرار می‌گیرند. حداکثر دمای آون تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

⁶ Back Pressure

⁷ Core holder

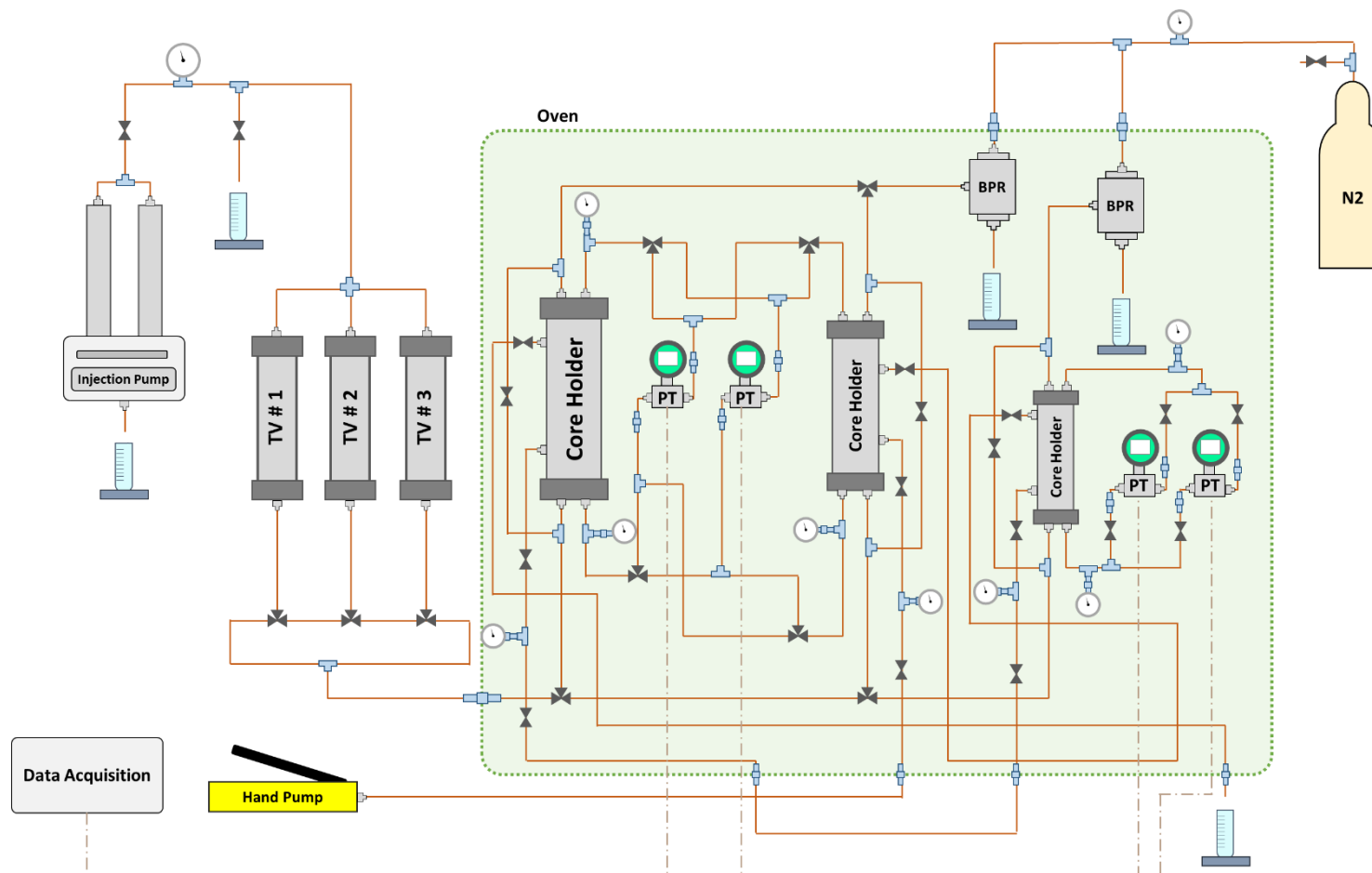
⁸ Overburden Pressure

مواد به کار رفته

مواد مورد استفاده برای ساخت قطعات با در نظر گرفتن مقاومت در برابر خوردگی، فشار بالا و دمای بالا انتخاب شده است. اسیدهای HCL و HF خورنده‌اند و دمای بالا، خوردگی آن‌ها را سرعت می‌بخشد. هستلوی C-276 به دلیل مقاومت بالا در مقابل اسید برای استفاده در ساخت دستگاه انتخاب شده است. هزینه هستلوی تقریباً ۱۰ برابر استیل زنگ نزن ۳۱۶ است لذا ترکیبی از مواد مختلف برای دستیابی به بهترین عملکرد و در عین حال صرفه‌جویی در بودجه ساخت در نظر گرفته شده است.

شماتیک کلی دستگاه

دستگاه اسیدکاری ماتریسی شامل: نگهدارنده مغزه، پمپ تزریق، پمپ فشار روباره، مخزن نیتروژن، رگلاتورهای فشار پشتیبان، سیلندر ذخیره سیال، مبدل فشار، سیلندرهای انتقال اسید یا آب سازند، فشارسنج، آون حرارتی و سیستم ثبت داده می‌باشد. اجزاء و قطعات به کار رفته با لوله‌ها، اتصالات، لوازم و سیم‌های الکتریکی به یکدیگر متصل می‌شوند. شکل زیر نمایی از دستگاه اسیدکاری ماتریس دارای سه نگهدارنده مغزه به صورت موازی را نشان می‌دهد. دستگاه سیلابزنی مغزه موازی علاوه بر لیست اجزای مشخص شده به سه جمع کننده سیال خروجی از مغزه‌ها نیاز دارد.



مشخصات دستگاه

- حداکثر فشار تزریقی: ۶۰۰۰ پام
- حداکثر فشار روباره: ۱۰۰۰۰ پام
- حداکثر دمای کاری: ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد
- محدوده سنجش سنسورهای اختلاف فشار: ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ پام
- محدوده سنسورهای فشار: حداکثر ۶۰۰۰ پام با دقت ۰/۰۵ درصد در کل مقیاس
- قطر نمونه سنگ: ۴ اینچ (مغزه نگهدار بزرگ) - ۱/۵ اینچ (مغزه نگهدار متوسط) - ۱ اینچ (مغزه نگهدار کوچک)
- طول نمونه سنگ: ۲۰ اینچ (مغزه نگهدار بزرگ) - ۲۰ اینچ (مغزه نگهدار متوسط) - ۶ اینچ (مغزه نگهدار کوچک)
- مواد مورد استفاده (در تماس با اسید): هستلوی C276
- مواد مورد استفاده (بدون تماس با اسید): استیل زنگ نزن ۳۱۶

قطعات به کار رفته در سیستم مشابه خارجی

Item	Material	Pressure psi	Temp F	Vendor	Unit Price	Quantity	Price
Back Pressure Regulator	SS 316/HC276	6,000	464	SunSource	\$ 3,293.00	2	\$ 6,586.00
Acid Accumulator	HC276	5,000	250	Phoenix Instruments	\$ 5,175.00	1	\$ 5,175.00
Brine Accumulator	SS 316	5,000	250	Phoenix Instruments	\$ 3,925.00	1	\$ 3,925.00
Small Core Holder (1"x6")	HC276	5,000	300	Phoenix Instruments	\$ 5,185.00	1	\$ 5,185.00
Medium Core Holder (1.5"x 20")	HC276	5,000	300	Phoenix Instruments	\$ 7,945.00	2	\$ 15,890.00
Large Core Holder (4"x 20")	HC276	5,000	300	Phoenix Instruments	\$ 9,350.00	1	\$ 9,350.00
PVC Refill Tank	PVC	100		Phoenix Instruments	\$ 475.00	1	\$ 475.00
Pressure Gauge	SS 316	6,000	212	AWC	\$ 80.44	11	\$ 884.84
Overburden Pump		10,000		Enerpac	\$ 424.50	1	\$ 424.50
Injection Pump		7,500		Teledyne Isco	\$ 24,299.19	1	\$ 24,299.19
80/20 Frame	Aluminum			Shepherd Controls	\$ 5,826.55	1	\$ 5,826.55
Fraction Collector	PTFE			Gilson	\$ 2,821.00	2	\$ 5,642.00
Valves	SS 316/ HC 276	5000	250	Swagelok, HIP	-	36	\$ 8,554.00
Tubing and Fittings	SS 316/ HC 276	7,882	300	Swagelok, AWC	-	-	\$ 10,585.00
Pressure Transducer 200 psi	SS 316	200		Fox Boro	\$ 1,639.25	2	\$ 3,278.50
Pressure Transducer 2000 psi	SS 316	2,000		Fox Boro	\$ 1,707.33	2	\$ 3,414.66
Heating Elements	Duo Tape, Fiberglass		1,400	HTS/Glascol	-	-	\$ 1,046.00
Data Acquisition / Transformer	Fiberglass Enclosure			Britt Rice, NI	-	-	\$ 5,640.00
Shipping	Air Freight Crate			LogNet Worldwide	-	-	\$ 4,949.25
Total							\$ 121,130.49

اجزای دستگاه

نگهدارنده‌های مغزه

نگهدارنده‌های مغزه سیلندرهای مخصوصی هستند که نمونه‌های سنگ تحت فشار روباره در آنجا قرار گرفته تا سیال بتواند به طور خطی از درون سنگ جریان یابد. قسمت درونی نگهدارنده‌های مغزه از هستلوی C-276 ساخته شده و بخش‌های بیرونی آن که در تماس مستقیم با اسید نیستند از استیل زنگ نزن ۳۱۶ ساخته شده است.

به منظور امکان انجام انواع آزمایش‌های مرتبط با اسیدکاری سنگ مخزن، نگهدارنده‌های مغزه در سه اندازه به صورت بزرگ (برای مغزه به قطر ۴ اینچ و طول ۲۰ اینچ)، متوسط (برای مغزه به قطر ۱/۵ اینچ و طول ۲۰ اینچ) و کوچک (برای مغزه به قطر ۱ اینچ و طول ۶ اینچ) طراحی و ساخته شده‌اند.

نگهدارنده‌های مغزه قابلیت تحمل فشار سیال تا ۶۰۰۰ پام و دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد را دارند.



نگهدارنده‌های مغزه (سایز بزرگ، متوسط و کوچک)

پمپ تزریق

وظیفه پمپ تزریق ایجاد دبی تزریق کنترل شده به سمت تانک ذخیره سیالات تزریقی است تا سیالات با فشار مناسب به درون نمونه سنگ تزریق شوند. پمپ تزریق از نوع سورنگی دوگانه می‌باشد به این ترتیب در هر مرحله شارژ و دشارژ شدن پمپ یکی از سیلندرهای آزاد است و وقفه‌ای در عملیات تزریق به وجود نخواهد آمد. حداقل

دبی تزریقی 0.001 ml/min و حداکثر دبی تزریق 100 ml/min می‌باشد. توصیه می‌شود دبی تزریق بالاتر از 50 ml/min قرار داده نشود تا فرآیند سیلابزنی به شکل پایدار و منظم‌تری انجام پذیرد. حداکثر فشار کاری پمپ تزریق ۷۵۰۰ پام است.

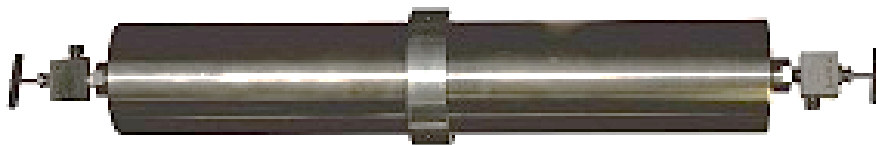


پمپ سورنگی دوگانه تزریق سیال

تانک ذخیره سیالات تزریقی

اسید و سایر سیالات تزریقی در تانک‌های ذخیره سیالات قرار داده می‌شوند. فشار هیدرولیکی از طریق پمپ به دیافراگم تعبیه شده در تانک ذخیره وارد شده و به این شکل بدون تماس مستقیم پمپ با اسید، فشار لازم برای تزریق اسید به درون سنگ فراهم می‌شود. جنس تانک ذخیره مخصوص اسید از هستلوی C276 و تانک ذخیره آب سازند از جنس استیل زنگ نزن ۳۱۶ است.

ظرفیت تانک‌های ذخیره 1000 ml می‌باشد.



تانک انتقال سیال تزریقی

پمپ فشار روباره

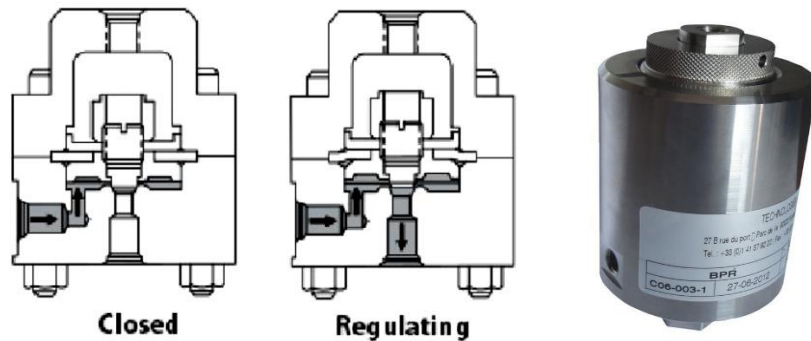
وظیفه پمپ روباره، بارگذاری فشار هیدرولیکی روی نمونه سنگ درون نگهدارنده مغزه از طریق فضای حلقوی اسلیو است تا از این طریق از جریان خطی درون سنگ مطمئن شویم. پمپ دستی ENERPAC-293 برای تأمین فشار روباره قابل استفاده است. این پمپ قابلیت بارگذاری فشار هیدرولیکی تا ۱۰ هزار پام بر روی سنگ را دارد و ظرفیت آن ۹۰۰ میلی‌لیتر می‌باشد. همچنین در صورت تمایل مشتری می‌توان از پمپ دستی هیدرولیکی ساخت شرکت استفاده کرد. حداکثر فشار ممکن به کمک این پمپ تا ۱۰ هزار پام بوده و مزیت آن در مقایسه با پمپ ENERPAC-293 قابلیت تنظیم دقیق‌تر فشار روباره توسط کاربر می‌باشد. در انجام آزمایش‌ها معمولاً توصیه می‌شود همواره فشار روباره بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ پام بیشتر از فشار جریانی تنظیم شود.



پمپ دستی تأمین فشار روباره

رگلاتور فشار پشتیبان

هدف از قرار دادن رگلاتور فشار پشتیبان اطمینان حاصل کردن از این موضوع است که فشار جریانی درون سنگ در شرایط فشار مخزنی باشد. همچنین در اسیدکاری با تنظیم فشار جریانی داخل سنگ از طریق رگلاتور فشار پشتیبان اجازه آزاد شدن دی‌اکسید کربن تولید شده از فاز مایع به فاز گازی را نمی‌دهیم در نتیجه جریان سیال درون سنگ تک فاز باقی مانده و افت فشار ناخواسته به دلیل پیدایش فاز گازی در درون سنگ ایجاد نمی‌شود. رگلاتور فشار پشتیبان قابلیت تنظیم فشار جریانی از ۲۵ تا ۶۰۰۰ پام را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. بدنه بیرونی قطعه از استیل زنگ‌نزن ۳۱۶ ساخته شده و قطعات درونی که در تماس با مواد خورنده، دی‌اکسید کربن و اسید هستند از هستلوی C276 ساخته شده است. قابلیت تحمل دمایی رگلاتور فشار پشتیبان تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است.



رگلاتور فشار پشتیبان. مکانیسم عملکرد این رگلاتور در شکل نشان داده شده است

آون

به منظور تأمین دمای مخزن در طول آزمایش از آون حرارتی مناسب استفاده شده است. این آون حرارتی توانایی ایجاد شرایط دمایی پایدار تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد را دارد. طراحی انتقال حرارت به منظور یکدست بودن دما در تمام نقاط آون صورت گرفته است.



آون حرارتی برای تأمین دمای مخزن در حین آزمایش

شیرهای مورد استفاده

به دلیل ویژگی‌های خاص سیستم اسیدکاری موازی ماتریس سنگ، لازم و ضروری است که در بخش‌های مختلف مسیر جریان از شیرهای متفاوتی استفاده شود. انواع شیرهای دوراهه و سه‌راهه سوزنی و توپی به فراخور مورد استفاده قرار گرفت.

گیج‌های فشارسنج

جهت مانیتورینگ فشار ورودی و خروجی نگهدارنده مغزه، فشار پشتیان، فشار روباره و نیز فشار تزریق پمپ، گیج‌های فشارسنج در سراسر خطوط جریان نصب می‌شوند. این نمایشگرهای فشار برای تعیین محل‌های نشت سیال مفیداند. تا فشار ۶۰۰۰ پام توسط این گیج‌های فشاری قابل اندازه‌گیری است.



گیج فشارسنج

سنسورهای فشار

به منظور اندازه‌گیری اختلاف فشار دو سر مغزه در حین آزمایش لازم است از سنسورهای سنجش اختلاف فشار استفاده شود. بازه اندازه‌گیری اختلاف فشار در این سنسورها ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ پام بوده و دقت آنها ۰/۰۵ درصد در کل مقیاس است.



سنسور اندازه‌گیری اختلاف فشار