

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

گزارش کارآموزی:

واحد مهندسی خوردگی خطوط لوله

و مخابرات نفت تهران

استاد راهنما:

سرپرست کارآموزی:

.....

کارآموز:

.....

مقدمه:

خوردگی تأسیسات صنعتی یکی از زمینه‌هایی است که مورد توجه خاص دانش‌پژوهان قرار دارد. در گزارش حاضر سعی شده که اطلاعاتی در مورد روشها، تجربیات دستگاهها و لوازم مورد نیاز همراه با تئوریهای اصول خوردگی چگونگی آزمایشها، اندازه‌گیریها، ذکر شود.

ابتدا بهتر است که مفهوم نسبتاً صریحی از خوردگی داشته باشیم تا بتوانیم با روشی بیشتری در مورد طرق مبارزه با آن بحث نمائیم، خوردگی تعاریف مختلفی دارد. این تعاریف هر کدام در مواردی صحت دارند و هر کدام فقط گوشه‌ای از مطلب را بیان می‌کند ما برای هدفی که در پیش داریم، در مورد یک لوله مدفون شده در خاک، خوردگی را یک پدیده الکتروشیمیایی تعریف کرده و وجود اکسیژن را برای ادامه خوردگی ضروری محسوب می‌نماییم. با قبول این مزیت به بیان شرایطی می‌پردازیم که با واقع شدن آنها یک سل خوردگی می‌تواند فعالیت داشته باشد:

- ۱- یک کاتد و یک آند باید وجود داشته باشد.
- ۲- بین آند و کاتد اختلاف پتانسیل برقرار باشد.
- ۳- یک رابط فلزی بین آند و کاتد وجود داشته باشد.
- ۴- آند و کاتد در یک الکترولیت هادی باشند، بدین معنی که مقداری از مولکولهای آب به صورت یون درآمده باشد،

حال برای یک لوله مدفون شده، کاتد که خود لوله است و آند بیشتر سیلیکون آیرن (silicon Iron) استفاده می شود. (شرط ۱). برای برقراری اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد از قوانین و یکسوکننده استفاده می شود. (شرط ۱) (شرط ۲) برای رابط فلزی خود لوله به صورت رابط فلزی عمل می کند و شرط چهارم با توجه به رطوبت خاک فراهم می شود.

اختلاف پتانسیل موجود بین آند و کاتد باعث بوجود آمدن جریان الکترونی از طرف آند به کاتد در مدار فلزی بین آند و کاتد خواهد گردید. در آند فلز با از دست دادن الکترون، تولید یون آهن با بار مثبت خواهد کرد که با OH موجود در آن حوالی تولید هیدروکسید دو ظرفیتی آهن به فرمول $\text{Fe}(\text{OH})_2$ خواهد کرد. که با یک مرحله اکسید شدن به صورت زنگ آهن Fe_2O_3 در خواهد آمد.

در ناحیه کاتدی تعداد الکترون اضافی از طرف آند تأمین شده است، این الکترونها با یونهای مثبت هیدروژن محیط، تولید گاز H_2 می کنند که به صورت لایه در اطراف کاتد در خواهد آمد و به قشر پلاریزاسیون موسوم است، با این تبدیل هیدروژن اتمی به هیدروژن گازی مقداری یون OH^- اضافی در ناحیه کاتدی بوجود خواهد آمد که سبب افزایش خاصیت بازی ناحیه کاتدی می شود.

چند نکته:

۱- جهت جریان الکتریسیته (خلاف جهت حرکت الکترونها) در مدار فلزی از کاتد به آند خواهد بود.

۲- جهت جریان در داخل الکترولیت از آند به کاتد خواهد بود.

۳- خوردگی فلز در آند یعنی قطبی که جریان از آن به طرف الکترولیت خارج

می شود اتفاق می افتد.

۴- فلزی که جریان از محیط اطراف دریافت می کند خورده نمی شود.

مقدار کاهش وزن فلز با شدت جریان خوردگی متناسب خواهد بود. یک آمپر جریان

مستقیم که از فولاد به طرف خاک خارج می شود، می تواند سالانه حدود بیست پوند

فولاد را بخورد. البته در مسائل مربوط به خوردگی خط لوله به ندرت با شدت

جریان های بالا روبرو خواهیم شد و معمولاً شدت جریانها در حدود چند میلی آمپر

خواهند بود. ولی باید توجه کرد که حتی یک میلی آمپر در طول سال اگر فقط از هفت

نقطه لوله خارج شود، می تواند باعث ایجاد هفت عدد سوراخ به قطر $\frac{1}{4}$ اینچ روی

یک لوله دو اینچی با ضخامت استاندارد گردد. البته این نکته که تعداد نقاط خروج

جریان به چند نقطه محدود نگردد، بسیار حائز اهمیت است و بهتر آن است که جریان

در سطح بیشتری توزیع شود تا آنکه قدرت نفوذی آن در لوله کاهش یابد.

تأثیر مقاومت در شدت جریان خوردگی:

مقاومت ظاهری مدار شامل دو قسمت خواهد بود: مقاومت اهلی اجزاء مدار و

مقاومت ناشی از لایه پلاریزاسیون در کاتد. هر چه مقاومت کمتر باشد، شدت جریان

بیشتر بوده و در نتیجه کاهش وزن زیادتری حاصل خواهد. مقاومت الکترولیت عبارت

خواهد بود از مقاومت الکتریکی خاک یا آب که می تواند بشدت متغیر باشد. برای یک

الکترولیت با مقاومت الکتریکی معین سطح آند و کاتد فاکتور مهمی خواهد بود. هر چه این سطح کوچکتر باشد، مقاومت زیادی در مدار ایجاد می شود. بعضی مواقع محصولات خوردگی نیز می تواند مقاومت قابل ملاحظه ای در مدار ایجاد کنند ولی این مقاومت در مورد فولاد چندان نخواهد بود.

لایه پلاریزاسیون در کنترل مقدار جریان خوردگی نقش اسامی دارد به طوری که این لایه به صورت یک لایه عایق عمل کرده و ممکن است افت ولتاژ در این لایه با اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد برابر گشته و جریان خوردگی را به سمت صفر سوق دهد.

از گفته های بالا می توان به این نکته پی برد که این لایه پلاریزاسیون می تواند بخوبی از خورده شدن لوله جلوگیری نماید اما اغلب مواردی وجود دارند که سبب از بین رفتن این لایه می شوند مانند لوله ای که در درون آب قرار داشته باشد که در این مورد جریان آب سبب از بین رفتن این لایه هیدروژنی می گردد. یا می توانند عامل شیمیایی باشد همانند حضور اکسیژن در الکترولیت که با هیدروژن ترکیب شده سبب از بین رفتن لایه پلاریزاسیون می گردد و با همچنین در خاکهای میکروبی، باکتریهای بخصوصی می توانند باشند که سبب از رفتن این لایه گردند.

حال در اینجا سؤالی مطرح می شود که نقاط آندی و کاتدی در یک لوله زیرزمینی چگونه بوجود می آیند. شرایطی وجود دارد که به تشکیل نقاط آندی و کاتدی منجر می شوند که با آگاهی یافتن از این شرایط می توان در مرحله طراحی و نصب این

لوله ها اقداماتی را انجام داد که منجر به خنثی کردن این شرایط و نگهداری بیشتر لوله شود.

هر فلزی که داخل الکترولیتی قرار دارد، پتانسیلی نسبت به آن الکترولیت پیدا خواهد کرد که با الکتروود مرجع به سادگی می توان اختلاف پتانسیل را مورد محاسبه قرار داد. در عمل ما بیشتر از الکتروود مرجع مس- سولفات مس استفاده می کنیم، که در جدول زیر پتانسیل بعضی از فلزات در خاک خنثی یا آب در مقایسه با الکتروود و مرجع مس- سولفات مس آورده شده که در این جدول از بالا به پایین بر خاصیت کاتدی فلزات افزوده می شود.

فلز	پتانسیل
منیزیم خالص تجاری	-۱/۷۵
روی	-۱/۱
آلیاژ آلومینیوم	-۱/۰۵
آهن (تمیز و براق)	-۰/۸ تا -۰/۵
آهن (زنگ زده)	-۰/۵ تا -۰/۲
آهن در سیمان	-۰/۲
چدن سیلیس دار	-۰/۲

در بعضی مواقع ممکن است خوردگی در اثر تغییر در ترکیب شیمیایی خاک رخ دهد چون در عمل در بعضی موارد ممکن است که ترکیب شیمیایی خاک از نقطه ای به نقطه دیگر تغییر کند که این علل نیز سبب خوردگی خواهد شد. چرا که اختلاف

پتانسیل بین دو قسمت لوله واقع در این دو محیط مختلف حاصل شده و سبب تشکیل یک پیل می شود. که در این حالت قسمتی از لوله کاتد و قسمت دیگری از همان لوله آنند خواهد شد که آنند خورده شده و عمر کوتاهتری خواهد داشت. یک نوع پیل دیگر ممکن است در اثر تفاوت غلظت هوای موجود در اطراف لوله بوجود آید که این نوع خوردگی در گروه مهمترین پیلها و خوردگیها قرار داشته باشد. بعنوان مثال برای این مورد می توان لوله ای را ذکر کرد که قسمتی از آن در خاک و قسمت دیگران از زیر یک جاده آسفالت عبور کرده باشد که در این صورت نواحی از لوله که از زیر جاده آسفالت عبور کرده باشد که در این صورت نواحی از لوله که در زیر جاده آسفالت قرار دارد، نفوذ اکسیژن به محیط اطراف لوله مشکل تر است لذا بین این منطقه از لوله و مناطق دورتر یک پیل غلظتی هوایی تشکیل می شود و منجر به خوردگی شدید لوله زیر ناحیه آسفالت می گردد. همچنین است در مورد لوله ای که از زیر نهري عبور کرده باشد که در آن صورت درباره قسمت از لوله که در زیر نهر قرار دارد آندی شده و خوردگی بیشتری خواهد داشت.

یک نوع دیگری از خوردگی زمانی می تواند اتفاق افتد که یک لوله فولادی کهنه با قسمت جدیدی تعویض شود. در این صورت پتانسیل دو لوله نسبت به هم متفاوت خواهد شد، (به علت وجود محصولات خوردگی بر روی نقاط لوله کهنه)، در نتیجه یک پیل خوردگی تشکیل شده و منطقه لوله جدید نسبت به لوله کهنه و قدیمی خوردگی بیشتری خواهد داشت و زودتر از لوله قدیمی سوراخ می گردد. به همین علت

باید دقت شود تا در حین عملیات کندن زمین ، نوک ابزار به لوله برخورد نکند، زیرا اگر این برخورد اتفاق افتد، سبب خراشیده شدن لوله شده و در نتیجه سطح تازه فولاد را در تماس با هوا و سطح قدیمی لوله قرار می دهد و سبب خوردگی شدید سطح خراشیده شده و سوراخ شدن آن قسمت خواهد شد.

همچنین است در مورد پوسته های اکسیدی ناشی از خورد لوله های فولادی که هر گاه یک لوله فولادی به همراه پوسته های اکسیدی حاصله از عملیات خورد در خاک دفن شود نقاط مربوط به پوسته های اکسیدی کاتد و نقاط فولاد بدون پوسته آنند خواهند شد و در نقاط لوله که عاری از پوسته های اکسیدی هستند خوردگی شدیدی اتفاق خواهد افتاد .

همان طور که قبلاً نیز اشاره شده نسبت سطوح آندی و کاتدی در تعیین میزان خوردگی بسیار مؤثر است. اگر سطح قسمت آندی ما نسبت به قسمت کاتدی کم باشد شدت جریان خروجی در واحد سطح از آنند زیاد بوده و باعث خوردگی شدید آنند شده و چون شدت جریان دریافت شده توسط کاتد که دارای سطح بزرگی است، کم است، عمل پلاریزاسیون خیلی به کندی صورت می گیرد و نتیجتاً پیل خوردگی به صورت فعال ادامه خواهد داشت. در حالیکه در شرایطی که سطح آنند بزرگ است شدت جریان خروجی آن در واحد سطح کم بوده و سرعت خوردگی نسبتاً کم خواهد بود و چون سطح کاتد کوچک است ، شدت جریان دریافتی آن زیاد بوده و بزودی پلاریزه شده و باعث کم شدن شدت جریان خوردگی می شود.

حال با توجه به نکاتی که در قبل ذکر شد و همچنین با شناخت عواملی که منجر به

خوردگی یک لوله می شوند می توان روشهای مقابله را تعیین نمود. که روشهای اصلی

مقابله با خوردگی لوله عبارتند از:

۱- استفاده از پوششها

۲- حفاظت کاتدی

از پوشش انتظار می رود که به صورت یک قشر پیوسته و عایق الکتریکی سطح لوله را

پوشانیده و نتیجتاً مقاومت زیادی در مدار خوردگی ایجاد نماید به طوری که شدت

جریان خوردگی کاهش داده شود.

سیستم حفاظت کاتدی هم به طور ساده عبارتست از اعمال یک جریان مستقیم از یک

منبع خارجی که در جهت مخالف خروج جریان از نواحی آندی عمل می کند. با اعمال

این جریان تمام ساختمان فلزی از محیط اطراف جریان دریافت کرده و به یک کاتد

بزرگ تبدیل خواهد شد.

که حال به توضیح این روشها پرداخته می شود:

پوششها:

این تصور منطقی است که با پوشش کردن لوله می توان از خوردگی آن جلوگیری کرد

ولی این نوع حفاظت وقتی کامل می شود که :

۱- پوشش مصرفی عایق الکتریکی خوبی باشد.

۲- در هنگام پوشش کردن بدون پاره شدن بتواند روی لوله اعمال شده و با مرور زمان

نیز مقاوم و پا بر جا باشد.

۳- در هنگام نصب، محلی بدون پوشش روی لوله باقی نماند.

اما حقیقت این است که ما هیچگاه پوشش بدون عیب نخواهیم داشت و ایرادهایی که

پوششها می توانند داشته باشند به طور مختصر عبارتند از:

۱- در رفتن قسمتی از لوله از زیر ماشین پوشش دهنده.

۲- ترک خوردن پوشش ناشی از نشتهای حرارتی یا مکانیکی بیش از تحمل

۳- خراش ناشی از حمل و نقل لوله پوشش داده شده.

۴- نفوذ سنگهای تیز در هنگام پر کردن کانال لوله.

۵- تأثیر حلالهای موجود در محیط لوله که از نشتیها و غیره بوجود آمده اند.

۶- نفوذ ریشه های گیاهی موجود در خاک در اطراف لوله.

۷- تأثیر بعضی از باکتریهای موجود در خاک

یک مثال که اهمیت سالم بودن پوشش را نشان می دهد: یک لوله پوشش داده شده

دارای خراشی در پوشش خود در منطقه ای که از زیر یک نهر عبور می کند می باشد. در

این نقطه سطح عاری از پوشش لوله به یک آند کوچک و بقیه لوله به یک کاتد بزرگ

تبدیل خواهد شد، که در نتیجه آن خوردگی شدید می تواند در آن نقطه اتفاق افتاده و

منجر به سوراخ شدن لوله شود، حتی زودتر از موعدی که لوله اصلاً پوشش نداشت.

البته این مثال نباید به این صورت تلقی شود که گذاشتن لوله بدون پوشش در زمین

بهتر از لوله پوشش شده است زیرا که جریان کل خوردگی در صورت وجود پوشش کاهش پیدا خواهد کرد و از مقدار خوردگی به مراتب کاسته خواهد شد و بدین ترتیب فقط نقاط محدودی باقی خواهند ماند که باید از آنها حفاظت نمود و همین بهترین تأیید و توجیه برای اعمال حفاظت کاتدی می باشد. پس بهترین حالت عبارتست از بهترین پوشش توام با حفاظت کاتدی که به عنوان مهمترین و اساسی ترین دفاع در برابر خوردگی استفاده می گردد. در انتخاب پوشش باید دقت کافی به عمل آید که هر گاه مقاومت الکتریکی پوشش در بدو امر خوب بوده و با مرور زمان از مقاومت آن کاسته شود ممکن است سیستم حفاظت اولیه اگر چه قبلاً کافی بود، دیگر جوابگو نباشد و اعمال حفاظت کاتدی مجدد مستلزم هزینه بوده و هدف اصلی را که اعمال اقتصادی ترین سیستم حفاظتی است، از بین خواهد برد.

اعمال پوشش:

روشهای مناسب برای اعمال پوشش حائز اهمیت است چرا که ممکن است یک پوشش خوب و مرغوب در نتیجه نصب نامناسب دارای خواص مطلوب نشده و مشکلات زیادی را برای نگهداری لوله پدید آورد. به همین دلیل به طور مختصر به شرح روشهای استاندارد اعمال پوشش می پردازیم:

- ۱- سطح لوله خوب تمیز شود، روغن، چربی و گریس موجود در سطح لوله با حلالهای مناسبی پاک شده و سپس مورد سندبلاست قرار گیرد.

۲- اعمال زیر پوشش (primer). که برای ایجاد یک چسبندگی قوی بین لوله و پوشش اصلی لازم است که زیر پوشش مناسبی روی سطح لوله تمیز و خشک شده اعمال گردد. کارکردن در شرایط بارانی و در هوای یخبندان غلط است زیرا حتی یک قشر بسیار نازک از رطوبت هم، باعث تخریب پوشش در مراحل بعدی می شود. پوشش را باید بعد از خشک شدن زیر پوشش اعمال نمود به خصوص در پوششهایی که توام با حرارت اعمال می شوند، در غیر اینصورت عمل حرارت موجب تبخیر حلالهای موجود در زیر پوشش شده و باعث ایجاد حفره های گاز بین زیر پوشش و پوشش اصلی می شوند که نتیجه یک پوشش نامرغوب و کم مقاومت است.

۳- اعمال پوشش: سطح تمیز و زیر پوشش داده شده لوله مطابق توصیه سازنده پوشش داده می شود.

۴- نگهداری مناسب مواد پوشش و دقت در حمل و نقل آنها.

۵- دقت در محل لوله به کانال و دقتی در نصب و در مرحله پر کردن خاک اطراف اگر چه بعد از قرار گرفتن لوله در کانال بازرسی انجام گرفته و ایرادات پوشش تعمیر خواهند شد، ولی یک پوشش پیوسته بهتر و مقاوم تر از یک پوشش وصله و پینه شده خواهد بود. معمولاً در نقاطی از بستر لوله خاک نرم یا ماسه عاری از سنگهای تیز ریخته شده و لوله با احتیاط در بستر پایین آورده می شود.

۶- پیروی کامل از مشخصات اعمال پوشش و کنترل دقیق در تمام مراحل

۷- بازرسی از انجام مناسب کارها بعد از اتمام هر مرحله و در طول هر مرحله.

همان طور که در بالا شرح داده، ابتدا برای اعمال پوشش باید روی لوله پرایمر (Primer) اعمال شود که این primer رزین است که متناسب با نوع پوشش سرد ما خواهد بود و همچنین حاوی مقداری پودر فلزات اکتیواست که به عنوان محافظ کاتدی عمل می کنند سپس بعد از خشک شدن primer یک نوار اولیه مشکی رنگ بر روی primer اعمال می شود که این نوار چسبندگی خوبی دارد و می تواند خیلی خوب به لوله بچسبد، به همین دلیل است که این نوار اعمال می شود و سپس بر روی آن یک لایه نوار سفید رنگ اعمال خواهد شد که این نوارهای سفید رنگ مقاومت به ضربه خوبی دارند و در اثر تماس با سنگها تیزه و غیره دیرتر دچار تخریب خواهند شد و در حقیقت این نوار سفید رنگ به عنوان حفاظی برای نوار مشکی عمل می کند و سبب طولانی شدن عمر پوشش می گردد.

ذکر این نکته ضروری است که معمولاً Primer و پوشش اصلی باید از یک کارخانه خریداری شوند که از همه جهات با هم مطابقت داشته باشند.

همچنین باید ذکر شود که در لوله های نفتی مدفون در خاک بیشتر از ۹۰٪ خوردگی لوله ها مربوط به خوردگی خارجی است که با انتخاب یک پوشش و روش اعمال مناسب آن، می توان بیش از ۹۰٪ کار حفاظت را انجام داد.

Holiday Detector: این روش برای ایراد یابی پوشش مورد استفاده قرار می گیرد، بدین صورت که در این روش بین لوله و یک الکتروود ولتاژ زیادی اعمال می شود هر گاه نقطه ای از پوشش خراشیده شده باشد، جریانی بین الکتروود و لوله در آن نقطه

وجود خواهد آمد. این جرقه یک سیستم خبر دهنده را تحریک نموده و به اپراتور می فهماند که ایرادی در پوشش حاصل شده است. در این روش تجربه و دقت اپراتور بسیار مهم است و ولتاژ مناسبی باید بسته به نوع پوشش انتخاب شود.

انواع پوششها:

۱- Enamel که به دو صورت عمده Asphalt, Coal Tar و در حالت گرم اعمال می شوند به همین سبب به آنها پوششهای گرم می گویند. با این نوع پوششها یک پوشش بیرونی جهت اعمال مقاومت مکانیکی با کار گرفته می شود ضخامت یک لایه از این پوشش حدود $\frac{3}{32}$ اینچ می باشد. این پوششها از قطران زغال سنگ و ذوب آهن بدست می آمدند و این پوششها به علت دارا بودن گوگرد سمی هستند و مدتهاست که از رده خارج شده اند و مورد استفاده قرار نمی گیرند نحوه اعمال این پوششها به صورت زیر بود:

نوار فایبر گلاس (قیر) نوار ترموپلاست (قیر

۲- انواع مواد مومی که شبیه پوشش اول با یک پوشش بیرونی جهت افزایش مقاومت مکانیکی اعمال می شود.

۳- گریسها معمولاً به طور دستی و با دستکش روی لوله مالیده می شوند و سپس توسط یک لایه پوشش بیرونی مجهز به یک ورقه عایق پوشیده می شود.

۴- پوششهای مایع که به طور سرد اعمال می شوند این نوع پوششها با تبخیر حلال و یا توسط یک ماده شیمیایی سفت می شوند، این نوع پوشش از یک حلال باضافه

آسفالت که ممکن است مشتق نفتی و یا آسفالت طبیعی باشد، که خاصیت عایق بودنش بیشتر است و یا حلال باضافه قیر زغال تشکیل شده است. به این نوع نیز پوشش بیرونی جهت افزایش مقاومت مکانیکی اعمال می گردد. معمولاً عمل در چند لایه توام با پوشش بیرونی در هر مرحله و با رعایت فاصله زمانی معین بین دو لایه اجرا می گردد. ضخامت این نوع پوششها حدود 20 هزارم اینچ می باشد.

۵- انواع نوارهای محافظ از قبیل پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن، که در قسمت پشت دارای چسب هستند و مستقیماً روی لوله زیر پوشش زده شده اعمال می شوند (همان طور که قبلاً توضیح داده شد). ضخامت آنها حدود ۱۰ الی ۳۰ هزارم اینچ می باشد. نصب این پوششها چون خیلی ساده بوده و به حرارت احتیاج ندارد ارزان تر تمام می شوند و به خصوص برای تعمیرات پوشش بسیار مفید است. همچنین نوارهای مخصوصی هستند که دارای یک زیرسازی آسفالتی می باشند که توسط شعله نرم شده و حالت چسبناک به خود گرفته و روی لوله پیچیده می شوند. امروزه این نوع پوششها وسیع ترین کاربرد را در لوله های نفتی دارند.

۶- پوششهای پلاستیکی در اینکه به صورت نوار نیستند با پوششهای قبلی متفاوت هستند، و بیشتر روی لوله های کم قطر، در مرحله ساخت لوله به توسط اکستروژن روی لوله اعمال می شوند (نظیر کابل های برق که پوشش پلاستیکی به طور پیوسته سیمهای مسی را پوشانیده است).

۷- پوششهای مکانیکی بیرونی: این نوع پوششها بیشتر از آزیست یا الیاف شیشه‌ای اشباع با قیر تشکیل شده‌اند که علاوه بر استحکام مکانیکی، خاصیت عایق خوبی هم دارند.

۸- پوششهای وزنی: وقتی که لوله‌ها قرار است زیر آب باشند باید وزن آنها را سنگین‌تر نمود تا تمایل غوطه‌ور شدن در سطح آنها از بین برود. بعضی مواقع این سنگینی را توسط افزودن وزنه‌هایی در فواصلی از لوله از چدن یا بتن تأمین می‌کند و در مواردی مثل پیریت آهن اعمال می‌گردد. این نوع پوششها معمولاً با مفتولهای فولادی تقویت می‌گردند ضخامت لازم بازای وزن مورد نیاز در واحد طول لوله محاسبه می‌شود و این نوع پوششها از صدمات مکانیکی پوشش اصلی لوله جلوگیری می‌کنند. استفاده از این پوششها در مناطقی که احتمال صدمه خوردن وجود دارد با توجه به مشکلات زیاد تعمیرکاری، ضروری است.

۹- پوششهای بتنی: اگر چه این پوششها روی لوله چندان معمول نیستند ولی اگر افزودنیهای به خصوصی به این پوشش (سیمان) اضافه شود، این پوشش برای جلوگیری از خوردگی بسیار مفید خواهد بود. با پوشش دادن سیمانی لوله لخت، فولاد پتانسیل کاتدی به خود می‌گیرد و ضمناً به خوبی پلاریزه شده و از دریافت یا خروج جلوگیری می‌کند. این پوشش در صورت مرغوب بودن، می‌تواند بدون اعمال حفاظت کاتدی به کار رود. کمترین ضخامت برای این پوشش ۲ اینچ می‌باشد.

با در نظر گرفته همه جوانب باید اقتصادی ترین و مناسب ترین پوشش انتخاب شود.

نکات عمده ای که در انتخاب پوشش مؤثر است به صورت زیر است:

۱- آیا خاکی که لوله در آن دفن خواهد شد، عاری از سنگ یا عوامل مکانیکی که

ممکن است به پوشش صدمه بزنند میباشد یا خیر؟

۲- آیا خاک از نوعی است که نشتهای ناشی از انبساط و انقباض مزاحم پوشش

خواهند بود یا نه،

۳- آیا لوله در مسیر خود از قسمتهایی عبور می کند که دسترسی به آنها نظیر تقاطع

رودخانه ها زیر دریا و سایر تأسیسات مشکل باشد؟

۴- آیا درجه حرارت سرویس لوله از محیط اطراف یعنی خاک، بسیار بالاتر خواهد

بود یا نه،

۵- دمای محیط و شرایط جوی در هنگام اعمال پوشش چگونه خواهد بود؟

۶- آیا محدودیتی وجود خواهد داشت که جریان کاتدی را به حداقل مقدار کاهش

دهیم؟

ذکر این نکته خالی از لطف نخواهد بود که در نواحی که لوله آندی است، اگر آنرا

پوشش کنیم، سبب خوردگی شدید لوله در نواحی که پوشش ضعیف است خواهد

شد، به طوری که هر گاه پوشش وجود نداشت عمر لوله بیشتر می بود. در این موارد

بهتر است که نواحی کاتدی پوشش شوند که جریان کلی خوردگی کاهش یابد. (همان

طور که قبلاً توضیح داده شد).

پس برای انتخاب مناسب ترین پوشش چه از نظر بهره وری و چه از نظر اقتصادی دو

عامل بسیار مهم می باشد:

۱- اطلاعات گسترده از تمام خواص پوشش و محدودیتهای کاربرد آن برای یک پروژه

معین

۲- خلاصه کاملی از شرایط کارکرد لوله و شرایط مسیر.

حال با توجه به اتمام پوشش کاری لوله و قرار دادن لوله در بستر زمین برای کنترل

بیشتر خوردگی بحث حفاظت کاتدی مطرح خواهد شد، که با این حفاظت و همچنین

با وجود پوشش خوردگی لوله له حداقل ممکن خواهد رسید.

حفاظت کاتدی:

همان طور که قبلاً نیز ذکر شد، جریان الکتریکی که در نواحی آندی از فلز به سمت محیط اطراف خارجی می‌شوند، سبب خوردگی خواهند شد و در نقاط کاتدی که جریان از محیط اطراف به کاتد وارد می‌شوند خوردگی اتفاق نخواهد افتاد، پس در حقیقت اگر جریان الکتریکی از طرف محیط به تمام سطح لوله برسد دیگر خوردگی نخواهیم داشت و بدین ترتیب کل لوله کاتدی خواهد بود. که این کار دقیقاً عملی است که یک سیستم حفاظت کاتدی انجام می‌دهد. یعنی جریان مستقیم به تمام سطح لوله می‌رسد و در این صورت است که تمام سطح لوله به کاتد تبدیل شده و حفاظت به طور کامل انجام می‌گردد.

بدین ترتیب جریان خروجی از نقاط آندی توسط جریان حفاظتی خنثی می‌شوند. خروج جریان فقط از بستر آند طراحی شده اتفاق افتاده و موجبات خوردگی این آندها فراهم خواهد شد. معمولاً سعی می‌شود که به عنوان آند از موادی استفاده شود که طول عمر نسبتاً زیادی داشته باشند. پس نتیجه می‌شود که سیستم حفاظت کاتدی خوردگی را حذف نکرده بلکه آنرا از یک سیستم لوله مورد حفاظت به یک بستر آند طرح شده منتقل می‌نماید.

در حفاظت کاتدی می‌آیند یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل می‌دهند بدین ترتیب که یک فلز بسیار آندی را با لوله‌ای که حفاظت آن مدنظر است در تماس الکتریکی قرار می‌دهند. با این عمل جریان از محیط اطراف به لوله می‌رسد.

به طور کلی دو نوع سیستم حفاظت کاتدی داریم:

۱- حفاظت کاتدی با جریان اعمالی

۲- حفاظت کاتدی بدون جریان اعمالی (حفاظت با آند فداشونده).

در حفاظت با جریان اعمالی ولتاژ از یک منبع خارجی در مدار لوله تحت حفاظت و بستر آند اعمال می گردد. که به عنوان منبع جریان از یک مبدل یکسو کننده استفاده می شود. (Trans Rectifier). این دستگاه علاوه بر پایین آوردن ولتاژ جریان متناوب، عمل یکسوکنندگی را نیز انجام می دهد.

اما در روش حفاظت با آند فداشونده از یک آند خیلی فعال استفاده می شوند (مثل منیزیم یا روی) و آند مستقیماً و بدون هیچ ترانسی در تماس با لوله قرار می گیرد و از لوله حفاظت می کند.

حال این بحث مطرح می شود که مقدار جریان لازم برای حفاظت لوله چقدر باید باشد؟ روشن است که با توجه به شرایط خاک از نظر مقاومت الکتریکی و درجه عایقی پوشش مصرفی و سطح لوله مقدار این جریان مورد نیاز متفاوت خواهد بود. لذا مقدار جریان را نمی توان برای ارزیابی اینکه سیستم تحت حفاظت کاتدی کامل قرار دارد یا نه به عنوان معیار در نظر گرفت. پس می آیند به عنوان معیار، پتانسیل جدیدی را که لوله بعد از اعمال جریان حفاظتی بدست می آورد، استفاده می کند که این پتانسیل در مقایسه با الکتروود مرجع مس - سولفات مس باید $0/85 -$ تا $1/27 -$ باشد، تا لوله مورد حفاظت قرار گیرد.

۱/۲- < پتانسیل لوله نسبت به زمین < 0/85-

حال برای طراحی سیستم حفاظت کاتدی سؤالاتی مطرح هستند از قبیل:

- برای حفاظت چه روشی انتخاب می شود؟ (جریان اعمالی یا بدون جریان)

- شدت جریان مورد نیاز

- فاصله بسترهای آندی و جریان مورد نیاز از آنها:

- پیش بینیهای لازم از نظر نقاط تست (Test Point)

- نقاط ویژه ای که باید در طرح در نظر داشت.

برای جواب این سؤالات باید اطلاعات زیر در دارا بود:

- آیا لوله پوشش دارد یا خیر؟

- جنس فلز مورد حفاظت.

- اندازه لوله از نظر قطر و طول

- تداخل سایر تأسیسات فلزی همجوار

- نوع خاک

- وجود جریانهای نامطلوب در محیط

همان طور که قبلاً نیز گفته شد، پوشش روی لوله اگر مرغوب باشد و نیز به روش

مناسب و طبق استاندارد بر روی لوله اعمال شده باشد، می تواند ۹۰٪ لوله را از

خوردگی مصون دارد. که اگر حال بر روی لوله پوشش دار، حفاظت نیز اعمال شود

سبب می شود تا در این حالت جریان از بستر آند به طرف محیط اطراف سرازیری

گشته و از نقاط لخت لوله بدان وارد خواهد شد و به این ترتیب جریان خوردگی که قبلاً از نقاط لخت خارج می شد، متوقف خواهد شد. مقداری از جریانی که به لوله می رسد از پوشش عبور می کند (زیرا هیچ پوششی کاملاً عایق نیست) و مقدار این جریان عبوری به ضریب هدایت یا مقاومت الکتریکی عایق به کار رفته بستگی خواهد داشت و به طور کلی مقدار آن نسبت به جریان دریافت شده توسط نقاط لخت ناچیز خواهد بود. برای درک بهتر در زیر جدولی آورده شده که در این جدول جریان حفاظتی لازم برای یک لوله فولادی به قطر ۳۶ اینچ و به طول ۱۰ مایل در خاکی با مقاومت الکترونیکی ۱۰۰۰ اهم - سانتیمتر، برای شرایط مختلف پوشش آورده شده است. این جریانه‌ها قادرند پتانسیل لوله را ۰/۳ ولت در جهت منفی افزایش دهند.

شدت جریان مورد نیاز (A)	مقاومت مؤثر پوشش بازای هر فوت مربع (برحسب اهم)
۵۰۰	خط لوله لخت
۱۴/۹۱	۱۰۰۰۰
۲/۹۸۲	۵۰۰۰۰
۰/۱۴۹۱	۵۰۰۰۰
۰/۰۲۹۸	۱۰۰۰۰۰
۰/۰۰۰۰۵۸	۵۰۰۰۰۰
	پوشش کامل

مشاهده می شود که با اعمال یک پوشش نسبتاً خوب با مقاومت ۵۰۰/۰۰۰ اهم شدت جریان مورد نیاز حفاظت از ۵۰۰ آمپر برای لوله بدن پوشش به ۰/۲۹۸۲ آمپر کاهش می یابد.

با یک پوشش خوب می توان حدود ۵۰ مایل لوله را فقط از یک ایستگاه حفاظتی کنترل نمود.

حفاظت لوله ای با قطر بیشتر بخاطر مقاومت الکتریکی کمتر آن آسان تر از حفاظت لوله ای با قطر کمتر خواهد بود.

در بعضی مواد شدت جریان زیاد می تواند باعث خسارت دیدن پوشش ها بشود، بدین ترتیب که جریان زیاد باعث تولید هیدروژن زیاد در نقاط لخت پوشش می شود. این هیدروژن می تواند فشار بیش از حدی تولید کند که بین پوشش و لوله نفوذ کرده و باعث پوسته شدن پوشش می گردد و در نتیجه فلز زیادی بدون پوشش در معرض محیط قرار می گیرد. همان طور که در قبل بیان شد، پتانسیل لوله نسبت به زمین باید در محدوده -0.85 تا -1.2 ولت باشد که اگر از -0.85 کمتر باشد لوله حفاظت نخواهد شد و اگر از -1.2 بیشتر باشد، سبب جدایی پوشش از روی لوله می شود.

این ایراد جدایی پوشش از لوله با تنظیم نامناسب جریان حفاظتی پیش می آید. هر گاه سیستم حفاظت کاتدی خوب طراحی شده و به طور مناسب نگهداری شود می تواند به طور کاملاً مؤثری از خوردگی خط لوله جلوگیری به عمل آورد. دلیل این کارایی به خصوص وقتی به وضوح قابل مشاهده است که یک خط لوله کهنه که با سرعت روز افزونی ایجاد نشی می نماید، سیستم حفاظت کاتدی نصب گردد، ملاحظه خواهد شده که به طور شگرفی ایجاد نشی ها متوقف می گردند.

اما نکته‌ای که در اینجا خیلی مهم و حائز اهمیت است، وجود جریانهای سرگردان (علاوه بر جریان سیستم حفاظتی، جریانهای مستقیم دیگری نیز در زمین موجود باشند). می‌باشد که این نوع جریانها می‌توانند به طور قابل توجهی سبب افزایش خوردگی گردند. همچنین است برای یک سیستم حفاظت کاتدی، که ممکن است لوله مورد نظر را به خوبی از نظر خوردگی کنترل نماید، ولی روی سایر لوله‌های زیرزمینی که تحت حفاظت نیستند، خوردگی شدیدی بوجود آورد. این نوع تأثیر بیشتر در مورد سیستم‌های حفاظتی با جریان اعمالی مشاهده می‌شود و در مورد آندهای فداشونده بدلیل ولتاژ کم آنها، به ندرت ممکن است این تأثیر را داشته باشند.

حال برای درک بهتر این موضوع به ذکر مثال می‌پردازیم:

نصب بستر آندی سیستم حفاظتی در نزدیکی خط لوله بیگانه می‌تواند بسیار مضر باشد. مثلاً یک لوله بیگانه‌ای را در نظر می‌گیریم که از ناحیه نفوذی بستر آندی عبور می‌کند و در مسیر خود در فاصله قابل توجهی از بستر آندی لوله تحت حفاظت را قطع می‌نماید. در این حالت لوله بیگانه در منطقه نفوذی بستر آندی جریان زیادی دریافت می‌کند و این جریان را به هر حال باید در نقطه‌ای به طرف زمین تخلیه کند تا مدار کامل گردد. بهترین نقطه برای تخلیه این جریان از لوله بیگانه، در محل تقاطع لوله بیگانه به لوله حفاظتی است که در این نقطه جریان لوله بیگانه را ترک کرده و از طریق زمین به لوله مورد حفاظت رسیده و به منبع جریان کاتدی برمی‌گردد. بدین ترتیب است که خوردگی شدید و زودرسی در آن نقطه لوله بیگانه زیاد باشد، آنوقت ایجاد

اتصال بین دو لوله سبب خواهد شد که مقدار عمده جریان حفاظتی به لوله بیگانه برسد و مقدار کمتری از جریان به لوله اصلی برسد که حتی نتواند آنرا حفاظت کند. در این صورت باید محل بستر آندی را تغییر داد.

همچنین یک مثال دیگر اینکه لوله بیگانه در نزدیکی بستر آندی و به موازات لوله تحت حفاظت باشد، در این حالت نیز لوله بیگانه جریان زیادی دریافت خواهد کرد، این جریان در دو سوی خط لوله پیش خواهند رفت و در فاصله دورتر جایی که مقاومت زمین کم باشد، لوله را ترک کرده و از طریق زمین به لوله تحت حفاظت رسیده و به منبع جریان حفاظتی برمی گردند تا به این ترتیب مدار تکمیل شده باشد. در این حالت خوردگی در مناطق مختلفی که جریان خط لوله بیگانه را ترک می کند پیش خواهد آمد، و برخلاف حالت قبل خوردگی در نقطه تقاطع متمرکز نخواهد بود. در این مورد برای پیشگیری می توان دو لوله را بهم اتصال داد یا اینکه سیستم حفاظتی جداگانه ای برای لوله بیگانه در نظر گرفت.

این دو مثال بالا برای حالت هایی بود که لوله پوشش داشته باشد، اما اکنون حالتی را فرض می کنیم که لوله بیگانه، لوله بی پوششی را که دارای حفاظت کاتدی است قطع کند. از آنجائی که لوله پوشش دارد پس در حوالی خود یک منطقه نفوذی تشکیل می دهد که نتیجه آن، این است که زمین اطراف لوله، نسبت به زمین دورتر منفی تر است. شدت این منطقه نفوذی به مقدار جریان که به واحد سطح لوله می رسد بستگی دارد و هر چه جریان بیشتر باشد، شدت این منطقه بیشتر است. حال هر گاه لوله بیگانه

که لوله مورد حفاظت را قطع کرده، از منطقه نفوذی عبور خواهد کرد و درست در این منطقه است که خوردگی شدیدی روی آن ایجاد خواهد شد.

در منطقه نفوذی لوله بیگانه تمایل نشان می دهد که نسبت به زمین مجاور مثبت تر باشد و این تمایل درست در نقطه تقاطع بیشترین است و این اختلاف ولتاژ بین لوله بیگانه و زمین باعث می شود لوله بیگانه جریان حفاظتی را از زمین دور دریافت کرده و در نقطه تقاطع آن جریان را به طرف لوله تحت حفاظت در خاک تخلیه کند و همین جاست که بیشترین مقدار خوردگی در لوله بیگانه حاصل می شود حال اگر برحسب تصادف لوله بیگانه از نزدیکی بستر آندی هم عبور کرده باشد آنگاه دو اثر با هم جمع می شود و خوردگی بسیار شدید و زودرسی اتفاق خواهد افتاد.

بررسی اینکه آیا این تأثیر روی لوله بیگانه وجود خواهد داشت یا نه، به این ترتیب است که پتانسیل لوله بیگانه را نقطه به نقطه نسبت به خاک اندازه گیری می نمایند. پتانسیل های لوله بیگانه نسبت به زمین که از منطقه نفوذی لوله تحت حفاظت عبور می کند مقادیر بدست آمده از این اندازه گیری، مشابه منحنی نشان داده شده خواهد شد. مشاهده می شود که یک چاه پتانسیلی در منطقه تقاطع بوجود آمده است و در این منطقه خوردگی لوله بیگانه مورد انتظار است.

برای رفع این مشکل مواردی است که عمل می شود مانند: پوشش دادن لوله عاری از پوشش تحت حفاظت، پوشش دادن لوله بیگانه به شرطی که لوله بیگانه دارای پوشش کاملی باشد تا تخلیه جریان و در نتیجه خوردگی، در آن بوجود نیاید.

ایجاد اتصال بین لوله بیگانه و لوله تحت حفاظت می تواند راه حل مناسبی باشد. پس می توان نتیجه گرفت که اطلاعات کافی از منطقه ای که حفاظت لوله زیر زمینی در آن مد نظر است، از نظر وجود سایر تأسیسات زیرزمینی و سایر سیستمهای حفاظت کاتدی برای طراحی یک سیستم مناسب ضروری است. با توجه به مطالب قبل که اصول حفاظت کاتدی مطرح شد، حال به این نکته می پردازیم که برای ایجاد یک ایستگاه حفاظت، چه نکاتی را باید در نظر بگیریم و به چه موادی نیاز داریم. فرض می کنیم که یک خط لوله پوشش دار، آماده شده و آنرا در بستر زمین قرار می دهیم، همان طور که گفته شد برای حفاظت آن ما به حفره های آندی، جریان برق مستقیم نیازمندیم تا بتوانیم لوله را مورد حفاظت قرار دهیم.

پس اولین نکته را که باید در طراحی ایستگاه در نظر بگیریم. دسترسی آسان به برق است، پس باید نقطه ای را برای طراحی ایستگاه در نظر بگیریم که کمترین فاصله را تا کابل برق سراسری داشته باشد. سپس چون کابل برق سراسری ولتاژ بالایی دارد و همچنین برق متناوب است با استفاده از دستگاههای به نام Trans Rectifier هم ولتاژ برق را کاهش می دهند و هم برق را یکسو می کنند تا جریان D.C. بدست آید. که این مبدل های یکسو کننده انواع مختلفی دارند، که از آنها مبدل یکسو کننده های تک فاز و سه فاز متداول می باشند. که این مبدل - یکسو کننده ها با سه نوع محفظه ساخته می شوند:

۱- نوع هوایی، با هوا خنک می‌شوند و در بسیاری از مسیرهای خطوط لوله قابل استفاده می‌باشند.

۲- نوع معلق در روغن، در نواحی که محیط خورنده می‌باشد مانند سواحل دریا، نواحی صنعتی غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳- نوع روغنی ضد انفجار و آتش، این نوع مبدلها در محفظه‌های ضد انفجار و آتش قرار دارند و در مکانهایی که خطر انفجار و آتش‌سوزی وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ولتاژ خروجی این مبدل- یکسوکننده‌ها باید بیشتر از حداقل طراحی باشد. این افزایش به این دلیل است که مقاومت بستر آندی در اثر گذشت زمان و فرسوده شدن افزایش می‌یابد. اگر ولتاژ خروجی ۱۵ تا ۲۵ درصد بیشتر از مقدار طراحی شده انتخاب گردد، به سادگی قادر به تأمین شدت جریان مورد نیاز برای زمان طولانی خواهد بود.

مبدل یکسوکننده‌ها را می‌توان به حالت‌های گوناگون در محل نصب کرد که بستگی به فضای محیط کار، محدودیت و استانداردهای محلی و غیره دارد. که نمونه‌هایی از نصب مبدل- یکسوکننده در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است.

پس از کاهش برق و یکسو شدن جریان توسط مبدل- یکسوکننده، قطب مثبت این ترانس- رکتیفایر به آندهای طراحی شده و قطب منفی آن به خط لوله متصل خواهد شد. همان طور که در قبل نیز اشاره شد، اگر پوشش لوله مرغوب باشد و از روش نصب مناسبی نیز استفاده شده باشد، با یک ایستگاه حفاظت می‌توان 30 تا 40 کیلومتر

از خط لوله را مورد حفاظت قرار داد نکته ای که در احداث ایستگاه مهم است این است که باید جایی ایستگاه احداث شود که زمین کمترین مقاومت را داشته باشد. که الکترونها بتواند راحت تر حرکت کنند.

همان طور که قبلاً گفته شد برای اندازه گیری پتانسیل خط لوله نسبت به زمین و اینکه بدانیم که آیا لوله حفاظت می شود یا خیر، به یکسری نقاط تست (Test Point) نیاز داریم که طبق استاندارد باید هر ۲ کیلومتر به ۲ کیلومتر یک نقطه تست، داشته باشیم، که برای این کار نقطه ای از لوله را که باید نقطه تست شود، انتخاب نموده و مقدار از پوشش لوله را در آن نقطه می کنیم، سپس سطح آن نقطه از لوله را کاملاً براق و صیقلی می کنیم به طوری که هیچ چربی یا زنگ زدگی بر روی سطح لوله نماند، سپس در آن نقطه یک کابل بر روی لوله جوش می دهیم که برای جوش دادن این کابل از دستگاهی به نام Cad weld استفاده می کنیم. که این وسیله دستگاهی که بالای آن یک محفظه دارد که داخل محفظه پودری که مخلوط از باروت و سرب است ریخته می شود در انتهای محفظه یک پولک فلزی قرار می دهیم و سپس این دستگاه را دقیقاً بر روی سیم که بر روی سطح تمیز شده لوله قرار دارد، قرار می دهیم و اطراف آن را با گل می پوشانیم تا دقیقاً بر روی لوله بنشیند و قوس لوله برای ما مزاحمت ایجاد نکند، سپس با گرمای حاصل از شعله ور شدن آن سبب ذوب آن پولک فلزی شده و پولک فلزی ذوب شده بر روی کابل ریخته و سبب جوش خوردن کابل به لوله می شود.

پس از جوش خوردن کابل به لوله، برای آنکه آن قسمت لوله که کابل به آن جوش خورده و عاری از پوشش می باشد، بی حفاظ رها نشود و در واقع لوله لخت بیرون نماند، در آن قسمت لوله و بر روی کابل یک ماده پلیمری موسوم به هندی کپ (Handicap) می چسبانند، تا این ماده به عنوان پوشش عمل کند.

ذکر این نکته ضروری است که چنانچه سطح لوله خوب تمیز نشود، کابل چسبندگی خوبی نداشته و بر روی لوله خوب جوش نمی خورد و بعد از مدتی از لوله جدا خواهد شد.

سپس سرکابلها را از داخل تونلهایی که لوله در آن قرار دارد بیرون می آورند و در یک محفظه فلزی بالای سر لوله قرار می دهند که یک نقطه تست را برای ما بوجود می آورد و ما می توانیم که هر وقت که لازم باشد پتانسیل آن نقطه از لوله را نسبت به زمین با الکتروود و مرجع مس- سولفات مس بدست آوریم و بینیم که آیا آن نقطه از لوله توسط ایستگاه حفاظت می شود یا نه و یا در حقیقت ولتاژ لوله بین $0/85$ تا $1/2$ - ولت خواهد بود یا نه. که اگر باشد لوله حفاظت خواهد شد و اگر نباشد و کمتر از $0/85$ - باشد، لوله حفاظت نمی شود و باید به دنبال علت آن باشیم. که ممکن است کابل نقطه تست از لوله جدا شده باشد و یا پوشش از لوله جدا شده باشد و لوله دچار خوردگی شده باشد.

همان طور که گفته شد، برای حفاظت ما به آند نیز احتیاج داریم، که قطب مثبت مبدل یکسو کننده به آند متصل میشود. در اینجا بحث طراحی حفره های آندی را به اختصار

مورد بررسی قرار می‌دهیم، چرا که بسیار پراهمیت است و می‌تواند نقش اساسی در حفاظت داشته باشد.

طراحی بستر آندی

در تعیین موقعیت بستر آندی، مهمترین عامل ضریب مقاومت زمین می‌باشد. عوامل دیگری نیز مؤثر خواهند بود که به قرار زیر است:

۱- وجود شبکه‌های فلزی در حوزه مؤثر آندی که بخشی از شدت جریان را جذب خواهند کرد، که در حالت مسئله پدیده تداخل باید برطرف گردد.

۲- آیا بستر آندی در این حریم خط لوله قرار دارد؟

۳- اگر روش حفاظتی از نوع جریان اعمالی در نظر گرفته شده باشد، آیا برق در این نقطه وجود دارد.

۴- موقعیت مکان در نظر گرفته شده از نظر کارهای تأسیساتی و تعمیراتی.

۵- بررسی برنامه‌های ساختمانی، جاده‌سازی و غیره که در آینده نزدیک در آن محل انجام خواهد شد.

به طور کلی تعیین موقعیت آندهای فدا شونده، سهل‌تر از بستر آندی با روش جریان اعمالی می‌باشد. زیرا این آندها در حریم خط لوله کار گذاشته می‌شوند. نیازی به منبع تولید برق مستقیم ندارند و تداخلی با سایر شبکه‌های فلزی نخواهد داشت. در روش جریان اعمالی گاهی اجبار به تغییر مکان از مناسبترین نقطه به نقاط دیگر با ضریب مقاومت بیشتر وجود دارد.

برای طراحی یک حفره آندی، علاوه بر مواردی که در بالا ذکر شد، چهار عامل مهم دیگر نیز باید در نظر گرفته شود که مربوط به آندها و خط لوله و کابل‌های ارتباطی بین آنهاست:

- ۱- مقاومت آندها نسبت به زمین
 - ۲- ولتاژ مخالف بین بستر آندی و لوله
 - ۳- مقاومت خط لوله نسبت به زمین در ناحیه بستر آندی.
 - ۴- مقاومت کابل‌های ارتباطی بین خط لوله، منبع برق مستقیم و بستر آندی.
- مقاومت کلی آند، نسبت به زمین برابر با است با مجموع مقاومت آند نسبت به پی پا و مقاومت پی پا نسبت به زمین.

ولتاژ مخالف بین بستر آندی و خط لوله در جهت مخالف ولتاژ اعمال شده می‌باشد. برای بستر آندی با پی پای مشتقات کربنی این مقدار در حدود ۲ ولت می‌باشد. برای تعیین ولتاژ مخالف، اختلاف پتانسیل بین خط لوله و بستر آندی بلافاصله پس از روشن کردن منبع برق مستقیم اندازه‌گیری می‌شود.

مقاومت خط لوله نسبت به زمین بستگی به کیفیت پوشش لوله دارد. مقاومت کابل‌های ارتباطی برابر مجموع مقاومت کابل اتصالی از خط لوله به منبع برق مستقیم، مقاومت کابل اتصالی از منبع برق مستقیم به بستر آندی و مقاومت متوسط کابل تقسیم آندی می‌باشد، زیرا همه شدت جریان در تمام طول کابل جاری نمی‌باشد

و در نقاط انشعاب هر یک از آندها بخشی از آن خارج می شود. این مقاومت متوسط معمولاً نصف مقاومت طول کل کابل تقسیم در نظر گرفته می شود.

یکی دیگر از مسائلی که در طراحی بستر آندی در نظر گرفته میشود عمر آندهای به کار رفته می باشد. اگر تعداد آندهای انتخاب شده، مقاومت مورد نیاز را حاصل کنند، ولی طول عمر مناسبی نداشته باشند در اینصورت تعداد آنها متناسباً افزوده می شود حفره های آندی معمولاً به سه گونه زیر طراحی می شوند:

۱- حفره های عمودی ۲- حفره های افقی ۳- حفره های چاهی

حفره های عمودی، عمود بر مسیر خط لوله هستند، حفره های افقی به موازات خط لوله هستند و حفره های چاهی، به صورت چاه کنده شده و آندها در چاه قرار می گیرند. شکلهای ۹ و ۱۰ نمونه هایی از حفره های عمودی و افقی را نشان می دهند.

حفره های عمودی و افقی

معمولاً هر حفره ای را که در زمین می کنند. باید با یک فاصله حداقل ۸۰ متری را با خط لوله داشته باشد و هر چه فاصله بیشتر شود، توزیع جریان الکتریکی بیشتر خواهد بود.

عمق حفره آندی هر چه بیشتر باشد بهتر است، چون رطوبت بیشتر می شود مقاومت الکتریکی کاهش می یابد و به تبع آن توزیع جریان الکتریکی بیشتر می شود. حفره های آندی هم، باید حداقل یک متر زیر لوله باشند.

پس از کندن حفره‌ها، نوبت به قرار دادن آندها در داخل حفره‌ها می‌رسد، آندها جنسهای مختلفی دارند که بعداً به شرح آنها پرداخته خواهد شد. قبل از قرار دادن آندها در حفره کف حفره را حدود ۳۰ سانتیمتر کک می‌ریزیم و می‌گوییم. که این ذرات کک دارای دو خاصیت می‌باشند:

۱- با داشتن ضریب مقاومت کم، موجب افزایش ابعاد آند و کاهش مقاومت آند نسبت به زمین می‌شوند.

۲- بخش بزرگی از جریان، مستقیماً از آند وارد پی پا شده، در نتیجه بیشتر مصرف مواد در سطح خارجی ستون پی پا انجام می‌گیرد.

پس از کوبیدن ذرات کک، سپس آندها را بر روی ذرات کک کوبیده شده قرار می‌دهیم، به این نحو که بین هر آند تا آند بعدی، باندازه طول آند فاصله باشد. طول هر آند معمولاً ۱/۵ متر است پس تقریباً فاصله هر آند تا آند بعدی باید ۱/۵ متر باشد. مثلاً اگر تعداد ۲۰ عدد آند به طول ۱/۵ متر را بخواهیم در حفره قرار دهیم، باید حفره‌ای به طول ۶۰ متر داشته باشیم.

پس از قرار دادن آندها، دوباره روی آنها ۳۰ سانتی متر کک ریخته می‌گوییم. سر کابل هر آند را از زیر کک و خاک بیرون می‌آوریم و بر روی هر آند یک لوله آزیست

موسوم به Velt قرار می دهیم که این velt ها را به دو منظور بر روی هر آند قرار

می دهیم:

۱- بخاطر تخلیه گازهای ناشی از فعل و انفعالات شیمیایی در حفره آندی.

۲- به علت جذب رطوبت.

سپس یک حلقه رینگ شکل، از کابل در حفره آندی قرار می دهیم و کابل هر آند را به صورت یکی در میان به بالا و پایین این کابل رینگ شکل متصل می کنیم و پس از اتصال کابل تمام آندها به این کابل رینگ (حلقه ای) شکل، دو سر کابل رینگ (حلقه ای) شکل را به یک باند باکس یا جعبه تقسیم (bond box) آورده و قطب مثبت ترانس - رکتینایر را به باند باکس اتصال می دهیم.

علت این کار این است که چنانچه که یکی از آندها از رده خارج شود کل سیستم از کار نخواهد افتاد اما اگر آندها، را به طور پشت سر هم به یکدیگر متصل کنیم در صورت خارج شدن یکی از آندها از مدار، کل سیستم از کار خواهد افتاد و برای ما دیگر حفاظت را انجام نخواهد داد.

پس از اتمام مراحل بالا، حفره را با خاک پر می کنیم و بدین ترتیب یک حفره آندی احداث شده است. که با توجه به موقعیت آن نسبت به خط لوله می تواند افقی یا عمودی باشد. کارگذاری آندها به حالت عمودی، متداول تر از کارگذاری آنها بحالت افقی می باشد. ولی گاهی اوقات بعلا نامناسب بودن کیفیت خاک در عمق انتخاب شده برای آندهای عمودی می توان آنها را افقی در زمین کار گذاشت.

حفره‌های آندی چاهی:

در مناطقی که ضریب مقاومت زمین در سطح زمین، بسیار زیاد می‌باشد، یا لایه‌های معدودی از زمین دارای مقاومت پایین می‌باشند، روش چاه آندی بسیار مؤثر می‌باشد. همچنین این روش در مناطقی که کمبود زمین وجود دارد مانند مناطق شهری و مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد که امروزه شرکت گاز برای حفاظت از لوله گاز شهری برای حفر حفره‌های آندی از این روش استفاده می‌نماید.

در این شیوه اگر لایه‌های عمیق زمین دارای ضریب مقاومت الکتریکی کم باشند، توزیع شدت جریان در اطراف خط لوله بسیار عالی انجام خواهد گرفت.

روشهای متعادلی برای حفر، حفره‌های آندی چاهی، اجرا شده است. یکی از این روشها جاگذاری لوله‌ای با دیواره ضخم در چاه حفر شده می‌باشد. بخش بالایی لوله را برای جلوگیری از خروج جریان با پوشش عایق می‌کنند. یک نوار پوشش در امتداد طول لوله، برای کاهش احتمال جدا شدن قسمتها لوله از یکدیگر در اثر خوردگی، ادامه پیدا می‌کند، این کار در مورد لوله‌های درزدار انجام می‌شود و نوار در طول درز لوله و محل جوشکاریهای مربوط به اتصال لوله ها چسبانده می‌شود. از فواید این طریقه اینست که می‌توان پس از خورده شدن لوله اولیه از لوله‌های بعدی که دارای قطر کمتر هستند استفاده کرد.

این روش بیشتر در نواحی انجام می‌گیرد که ضریب مقاومت زمین یکنواخت باشد زیرا اگر ضریب مقاومت بعضی لایه‌های نازک بسیار کم باشد، خوردگی در این نقاط

متمرکز شده و پس از آنکه تمام لوله مصرف شود، قسمتهای مختلف آن از یکدیگر

جدا می شود. این روش را می توان تکمیل کرد به این ترتیب که داخل غلاف لوله ای را

با آندهای سیلیکان یا گرافیت و پی پا و مشتقات کربنی انباشته می سازند، در این شیوه

ابتدا غلاف فلزی مصرف می شود و محتویات آن مصرف نخواهد شد و پس از خورده

شدن لوله، آندها و پی پاها در مدار قرار می گیرند.

تجربه نشان داده است که مقاومت یک چاه آندی تا مدتها ثابت است. بعد از خورده و

جدا شدن قسمتهای مختلف لوله از یکدیگر که منجر به وارد شدن آندها می گردد

باعث افزایش مقاومت می شود. یکی از دلایل این پدیده مقاومت طولی و جانبی پی

پای اطراف آندها می باشد.

در اینجا به معرفی مواد بستر آندی پرداخته خواهد شد:

آنها:

گرافیت، آهن و چدن پرسلیس از متداول ترین آنها هستند. آندگرافیت به علت شکنندگی باید با دقت کافی مورد استفاده قرار بگیرد. نقطه اتصال کابل به آند با مواد مخصوص عایق کننده پوشانده شده و با کلاهک پلاستیکی نیز روکش داده شده‌اند تا از نفوذ رطوبت جلوگیری شود. آند گرافیت قادر به تخلیه یک آمپر در هر فوت مربع از سطح آن می‌باشد. یک آند گرافیت با ابعاد ۳ در ۶۰ اینچ که متداول ترین اندازه مورد استفاده می‌باشند، دارای شدت جریان خروجی حداکثر ۴ آمپر می‌باشد. آند گرافیت بازای هر آمپر در سال در حدود ۱ پوند مصرف می‌شود.

آند چدن پرسلیس، آلیاژی است که شامل ۱۴ تا ۱۵ درصد سیلیسوم می‌باشد. اخیراً برای بهبود این آلیاژ کرم نیز به مقدار ۴ درصد در آن به کار می‌رود. چدن پرسلیس با چدن معمولی، تفاوت عمده‌ای در مصرف دارد. چدن بازای هر آمپر در سال در حدود ۲۰ پوند مصرف می‌شود در حالیکه چدن پرسلیس، با شدت بسیار کمتری مصرف می‌شود. در اینجا نیز مانند گرافیت نقطه اتصال آند به کابل به خوبی عایق می‌شود. این آنها نیز شکننده بوده و در بستری که محتوی پی پای مشتقات کربنی می‌باشد به کار می‌رود.

آندهای فولادی که امروزه با وجود آندهای چدن پرسلیس زیاد استفاده نمی‌شود.

پی پا:

پی پا عبارت از موادی است که آندها را در بستر آندی در بر گرفته و سه نوع ماده متداول مشتقات کربنی در این مورد به کار می رود.

کک حاصل از زغال سنگ، کک حاصل از نفت، گرافیت خرد شده.

پی پای کربنی به دو دلیل در حفره آندی به کار می رود.

۱- به منظور افزایش ابعاد آند و در نتیجه کاهش مقاومت حفره نسبت به زمین.

۲- شراکت در مصرف به علت تخلیه جریان الکتریکی

جهت رسیدن به هدف دوم ماده پی پا که اغلب کک می باشد، در اطراف آند باید به

خوبی فشرده گردد تا اتصال مستقیم کابل برقرار گردد. شدت مصرف ماده پی پا نباید به

ازای هر آمپر، از دو پوند در سال تجاوز کند. اندازه ذرات کک باید بین 5 تا 25 میلیمتر

باشد و میزان خاک آن نباید بیشتر از ۱۰٪ باشد و ضرب مقاومت الکتریکی آن نباید از

۵۰ اهم - سانتیمتر تجاوز کند.

کابل:

کابل های به کار رفته در مدار نسبت به زمین در تمام نقاط دارای پتانسیل مثبت

می باشند. که اگر کوچکترین صدمه ای بر روی عایق کابل بوجود آید، سبب می شود تا

جریان از این نقطه تخلیه شده و سبب خورده شده و جدا شدن کابل از قسمتهای دیگر

در این نقطه شود. لذا عایق کابل ها باید از کیفیت عالی برخوردار باشند. اخیراً کابلها با

پلی اتیلن پوشش داده می شوند که در محیطهای مختلف نتایج رضایتبخش داشته است.

اتصالات :

از نقاط بسیار حساس مدار شدت جریان اعمالی، نقاط اتصال کابل های اصلی به کابل
آنها می باشد. این اتصال باید مقاومت ناچیز داشته و دارای عایقی با کیفیت بسیار
مقاوم باشد.

از روشهای متداول اتصال کابل های مسی می توان لحیم کاری نرم، جوشکاری با پور
لحیم کاری سخت (نقره)، و اتصالات مکانیکی را نام برد. تعداد از این اتصالات
متالورژیکی هستند که دارای مقاومت ناچیز می باشند. اتصالات مکانیکی اگر بخوبی
انجام شوند سپس با عایق مناسبی برای جلوگیری از نفوذ رطوبت و هوا پوشانده
شوند، می توانند مورد استفاده قرار گیرند. کیفیت عایق این اتصالات باید با کیفیت
عایق کابل اصلی برابر کند. آنچه که در این مورد اهمیت فوق العاده دارد اینست که باید
توجه داشت این اتصالات باید سالها در محیط خورنده مقاومت کنند و کوچکترین
منفذی برای ورود رطوبت و هوا و مواد خورنده نداشته باشند.

حال در این قسمت به طور خلاصه ، در مورد آندهای فدا شونده توضیح داده خواهد
شد.

آندهای فداشونده:

مینزیم و روی از متداول ترین آندهای فنا شونده می باشند. هنگامی که یک خط لوله
فولادی ، به یکی از این دو فلز، که در جدول سری الکتروشیمیایی ، بالاتر از آن قرار

دارند، وصل شود و هر دو در یک محیط الکترولیت مشترک باشند، منیزیم یا روی که

فلز فعال تر هستند خورده خواهند شد و بدین ترتیب خط لوله محافظت خواهد شد.

آندهای فدا شونده در مواردی به کار می روند که شدت جریان مورد نیاز کم بوده و

ضریب مقاومت الکتریکی محیط در حدی باشد که بتوان با تعداد معدودی از آند فدا

شونده احتیاجات سیستم را برطرف کرد. یا در خطوط لوله ای که دارای پوشش عالی

می باشند و روش شدت جریان اعمالی برای حفاظت خط به کار رفته است، امکان

دارد که نقاط جدا افتاده ای وجود داشته باشد که به مقدار بیشتری شدت جریان نیاز

دارد. این افزایش نیاز موضعی را بکارگیری آندهای منیزیم یا روی می تواند برطرف

گرداند.

نمونه هایی از این نقاط عبارتند از : طولهایی از لوله که در آنها پوشش به سختی صدمه

دیده است، نواحی از خط لوله که در مجاورت موانع الکتریکی قرار گرفته اند و توزیع

شدت جریان در این نقاط بخوبی انجام می گیرد.

برای افزایش کارایی آندهای روی و منیزیم آنها را در مخلوط شیمیایی که به عنوان پی

پا به کار برده می شوند قرار می دهند، با قرار دادن آنها در این پی پاها ، بازدهی شدت

جریان آنها نیز افزایش می یابد. اگر خاک ناحیه با آند مستقیماً تماس داشته باشد در

این صورت خوردگی های موضعی به وقوع پیوسته و در سطح آند روی در مجاورت

ترکیبات فسفات، کربنات و بی کربنات ، لایه های پسیو تشکیل می شود که مقاومت مدار

کاتدی را به شدت افزایش می دهد. این لایه های پسیو، بر روی آندهای منیزیم نیز در

مجاورت کربنات ها و بی کربنات ها تشکیل می گردد. اگر یونهای کلر در محیط وجود داشته باشد، باعث خوردگی منیزیم شده و بازدهی شدت جریان آنرا کاهش می دهند. پی پای شیمیایی اطراف آند، رطوبت موجود در خاک را جذب کرده و محیط اطراف آند را مرطوب نگه می دارد.

در سیستمهای آند فدا شوند، آند روی بیشتر در خاکهایی که ضریب مقاومت الکتریکی آنها کمتر از ۱۵۰۰ اهم - سانتی متر است و آند منیزیم در خاکهایی که ضریب مقاومت الکتریکی آنها بیشتر از ۱۵۰۰ اهم - سانتی متر باشد، به کار می روند.

آندهای فدا شونده که نصب می شوند باید تطابق اتوماتیک به افزایش شدت جریان مورد نیاز را داشته باشند. اگر پوشش لوله بنا به دلایل مختلف ضعیف گردد. شدت جریان مورد نیاز افزایش خواهد یافت.

چند نکته درباره آندهای روی و منیزیم:

- ۱- در بسترهای آندی کوچک، آند روی طول عمر بیشتری نسبت به منیزیم دارد.
- ۲- شدت جریان خروجی آندهای منیزیم همواره زیاده از آندهای روی می باشد.
- ۳- اگر شدت جریان مورد نیاز خط لوله افزایش یابد. آند منیزیم در خاکهایی با ضریب مقاومت پایین، ظرفیت بیشتری برای تولید جریان الکتریکی دارند.
- ۴- اگر شدت جریان مورد نیاز خط لوله افزایش یابد در خاکهایی با ضریب مقاومت بالا، آندهای روی، ظرفیت بیشتری برای تولید جریان الکتریکی دارد.

۵- تنظیم اتوماتیک و ظرفیت آند روی در مواقع افزایش نیاز شدت جریان بهتر از

آندمنیزیم می باشد.

آندهای فداشونده را می توان هم به موازات خط لوله و یا عمود بر آن در زمین قرار

دارد. فاصله نزدیک ترین آندمنیزیم از خط لوله نباید کمتر از ۱۵ فوت باشد و این

فاصله را برای آند روی می توان تا ۵ فوت نیز کاهش داد. ولی بهتر است فاصله ۱۰

فوت انتخاب گردد. در طریقه بستر افقی آندهای فداشونده باید دقت کافی در مورد

شسته نشدن پی پا از اطراف آند (بوژه در آندهای از پیش بسته بندی شده) مبذول

شود. در نواحی که ضریب مقاومت الکتریکی زمین مناسب بوده و حفاری به سهولت

انجام می گیرد می توان آنها را در کنار خط لوله در عمق لازم دفن کرد. در این طرز

نصب گرادیان پتانسیل یکنواخت تر توزیع می شود، تعمیرات فصلی رطوبت زمین

تأثیر کمتری در شدت جریان خروجی خواهد داشت و کابل اتصال نیز از صدمه دیدن

در اثر حفاریهایی که برای کارهای دیگر پیش می آید، مصون خواهد ماند.

در سیستم آند فدا شونده کابلهای اتصال نیز تحت حفاظت قرار می گیرند و مانند روش

شدت جریان اعمالی، نقاط لخت شده در خطر خورده شدن و قطع گردیدن از بقیه

مدار نیستند. در هر حال برای جلوگیری از اتلاف شدت جریان در نقاط اتصال باید

آنها بخوبی عایق شوند. این نقاط به علت وجود دو فلز متفاوت (فولاد و کابل مسی)

در خطر خوردگی گالوانیکی قرار دارند، پس باید با موادی که دارای مقاومت عالی

نسبت به خوردگی و رطوبت هستند، پوشانده شوند. اگر کیفیت ماده عایق کننده ضعیف باشد، لوله در اطراف نقطه اتصال خورده خواهد شد.

پس از نصب بستر آندی فداشونده، شدت جریان ماکزیمم در همان ابتدا بدست نمی آید. پی پای خشک به آرامی رطوبت زمین را جذب می نماید و اگر زمین اطراف مرطوب نباشد، این کار روزها و شاید هفته ها به طول انجامد، در این مواقع بهتر است زمین بالای حفره آندی مرطوب گردد. ریختن مخلوط آب و پی پا در حفره آندی هنگام نصب آند روش مناسبی نمی باشد، زیرا پس از چندی آب مخلوط از بین می رود خلل و فرج فراوان در بستر ایجاد می شود. در حالیکه اگر پی پای خشک در حفره ریخته شود و رطوبت زمین را به آرامی بعد از نصب آند جذب کند، موجب افزایش حجم پی پا شده و فشردگی پی با که آند را پوشانده است بسیار عالی می گردد.

ذکر چند نکته در مورد خوردگی:

با توجه به آنچه که قبلاً گفته شد، چنانچه لوله ای پوشش داشته باشد و تحت حفاظت هم قرار بگیرد، قاعدتاً نباید دیگر دچار خوردگی شود، ولی در عمل اینگونه نیست و باز در لوله ها خوردگی مشاهده می شود و همان طور که اشاره شد، بیش از ۹۰٪ این خوردگی ها، خوردگی های خارجی هستند یعنی در جدار خارجی لوله اتفاق افتاده اند که عوامل ایجاد این خوردگی ها می توانند: جدایی پوشش از لوله، صدمه دیدن و سوراخ شدن پوشش، قطع جریان حفاظتی که می تواند به علت خرابی ترانس یا قطع هر یک از کابلها باشد و موارد دیگر باشند.

همان طور که ذکر شد لوله‌ها در زیر خاک مدفون هستند و حداقل ۱/۵ تا ۲ متر در زیر خاک مدفون شده‌اند، پس این امکان وجود ندارد که برای تشخیص خوردگی، لوله را بازرسی چشمی کنیم، پس برای تعیین خوردگی لوله‌ها و محل‌های خوردگی چه باید کرد؟

برای تعیین خوردگی از وسایلی به نام پیگ هوشمند استفاده می‌شود که تکنولوژی آن هنوز در ایران نیامده است و تمام این پیگ رانی‌ها را در طول خطوط نفت ایران، یک شرکت آلمانی به نام روزن (Rosen) انجام داده و نتایج را به شرکت نفت اعلام کرده است.

پیگ‌ها وسایلی هستند که قطر خارجی آنها به اندازه قطر داخلی لوله بوده و از یک تلمبه خانه مشخص داخل لوله قرار داده می‌شوند و با توجه به فشار خود مواد داخل لوله، به سمت جلو حرکت می‌کنند و در تلمبه خانه بعدی، از لوله خارج می‌شوند. لازم به ذکر است که از قبل پیگ رانی، یک دستگاه دیگر بنام اسکرپر را که همانند همان پیگ است منتهی دارای فرچه‌های فلزی است برای تمیز کردن سطح داخلی لوله در داخل لوله قرار می‌دهند تا سطح داخلی لوله قبل از پیگ رانی کاملاً تمیز شود. زیرا این پیگ‌های هوشمند کوچکترین تغییرات در لوله نشان می‌دهند و محل تمام Valve ها (شیرهای بزرگی که برای بستن مسیر مواد در داخل لوله‌ها، در فواصل مشخصی بر روی لوله تعبیه شده‌اند) مگنت‌ها علامت‌هایی که به فواصل مشخص روی لوله‌ها چسبانده می‌شود (با توجه به قدرت مغناطیسی که دارند بر روی لوله می‌نشینند) تا

معیاری برای تعیین مکان خوردگی لوله باشند، ساعت خوردگی و را مشخص می کنند. منظور از ساعت خوردگی مکان خوردگی در لوله می باشد، که آیا خوردگی در روی لوله یا زیر آن یا سمت راست یا سمت چپ است. مثلاً وقتی ساعت خوردگی را 3:00 بر روی یک لوله تعیین می کند، یعنی اگر بر مسیر حرکت مواد در لوله قرار بگیریم بالای لوله ساعت ۱۲، زیر لوله ساعت ۶، راست ساعت ۳ و چپ لوله ساعت ۹ می باشد.

همچنین این پیگ ها مکان خوردگی و درصد خوردگی و نیز داخلی یا خارجی بودن خوردگی را مشخص می کنند. برای تعیین مکان خوردگی فاصله خوردگی را از خط جوش لوله، از Valve و از مگنت (مارکهای موجود روی لوله) مشخص می کنند. بدین ترتیب، دیگر یافتن خوردگی روی لوله چندان کار مشکلی نخواهد بود. و خیلی راحت و بدون هیچ خطائی می توان درست به محل خوردگی روی لوله مراجعه نموده و آنرا ترمیم کرد.

برای ترمیم خوردگی، پس از یافتن محل آن، ابتدا پوشش لوله را در آن قسمت می کنند، سپس قسمت خورده شده را سنگ می زند تا کاملاً زنگ زدگیها و خوردگیها برطرف شود، سپس یک وصله از جنس خود لوله بر روی قسمت سنگ زده شده قرار می دهند و آنرا بر روی لوله جوشکاری، مواد در داخل لوله در حرکت هستند و سبب خنک شدن لوله می گردند و از آتش گرفتن آن جلوگیری می نمایند.

وصله‌ها باید به صورت بیضی شکل باشند تا بر روی لوله جوش خطی نداشته باشیم، چون جوش خطی شکننده خواهد بود و سریعاً خوردگی بر روی آن (خط جوش) اتفاق خواهد افتاد. نکته مهم دیگر فاصله وصله‌ها از هم می‌باشد که باید وصله‌ها حداقل به اندازه قطر لوله از هم فاصله داشته باشند، در غیر این صورت ساختار و خواص متالورژیکی لوله را بر هم می‌ریزیم و سبب کوتاه شدن عمر لوله می‌گردند. حال اگر در قسمت از لوله خوردگی آنقدر شدید باشد، که منجر به سوراخ شدن و نشستی لوله گردد، ابتدا نشستی لوله را پس از کندن پوشش آن، بند می‌آورند. پس از جلوگیری کردن از نشستی لوله، آنرا آب بندی می‌کند، سپس همانند شکل در محل نشستی دو بازو موسوم به sleeve را قرار داده و پیچ مهره آنرا محکم می‌بندند و پس از اتمام کار و اطمینان از اینکه دیگر لوله نشت نمی‌کند، دور تا دور این Sleeve را به لوله جوش می‌دهند تا دیگر نشستی نداشته باشد. پس از اتمام وصله زدن و نشستی‌گیری، دوباره لوله را پوشش می‌کنند و در خاک قرار می‌دهند. در انتهای این گزارش هم اشاره مختصری به دستگاه‌ها و وسایل مورد نیاز در سیستمهای حفاظت کاتدی خواهد شد.

دستگاههای اندازه گیری:

ولت مترها:

از آزمایشهای مهم و متداول در بررسی خوردگی اندازه گیری پتانسیل است.

ولت مترهای با مقاومت زیاد: با توجه به اینکه در بعضی موارد مقاومت مداری که

در آن پتانسیل اندازه گیری می شود بسیار زیاد است. ولت متری که برای اندازه گیری

پتانسیل خط لوله نسبت به زمین به کار برده می شود باید دارای مقاومت داخلی حداقل

۵۰/۰۰۰ اهم بازای هر ولت باشد و بهترین حالت این است که مقاومت ولت متر به کار

برده شده بسیار زیادتر از مقاومت مدار خارجی باشد.

ولت مترهایی با مقاومت پایین: همان طور که ذکر شد، ولت مترهایی با مقاومت

زیاد در اندازه گیری پتانسیل خط لوله نسبت به زمین به کار گرفته می شوند. اما ولت

مترهای با مقاومت پایین برای اندازه گیری پتانسیلهای ناچیز، مانند افت پتانسیل در طول

معینی از خط لوله به کار برده می شود.

ولت مترهای الکترونیکی : در سالهای اخیر پیشرفتهای بسیاری از ساخت ولت مترهای

الکترونیکی صورت گرفته است، این دستگاه قادر به دریافت ولتاژهای ناچیز بوده بدون

اینکه شدت جریان زیادی از مدار خارجی جذب کند. ولت مترهای الکترونیکی دارای

مقاومت داخلی بسیار زیاد می باشند که مقدار ثابتی برای اتمام اندازه گیریها باشد.

آمپر مترها:

در بررسی و آزمایشات خوردگی خط لوله در مواقع لازم اندازه گیری شدت جریان بوسیله آمپر متر انجام می شود. این اندازه گیریها شامل شدت جریان خروجی مبدل- یکسو کننده، شدت جریان بستر آندی موقت برای آزمایش شدت جریان مورد نیاز حفاظت کاتدی، شدت جریان بستر آندی فداشونده و ... می باشند.

اندازه سنج مرکب:

با این دستگاه اندازه گیریهای مختلفی را (پتانسیل شدت جریان، مقاومت ضریب مقاومت زمین و ...) می توان انجام داد.

این دستگاه شامل دو جزء اصلی می باشد، که یکی دارای مقاومت داخلی بسیار زیاد است و برای اندازه گیری پتانسیل خط لوله نسبت به الکتروود مرجع مناسب است و دیگر دارای مقاومت داخلی ناچیز بوده که برای اندازه گیری افت پتانسیل جزئی به کار برده می شود.

دستگاه اندازه گیری ضریب مقاومت زمین:

اندازه گیری مقاومت زمین برای تعیین مکان بستر آندی و ... انجام می شود. اندازه گیریهای مقاومت زمین در بیشتر مواقع با روش ۴ میله (روش ورنر) انجام می شود. این فاصله ها برابر عمقی است که در آن ضریب مقاومت متوسط زمین اندازه گیری می شود.