حفاظت کاتدی پوشش ها

MSRP group

شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
WWW.MSRPCO.com
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

۴-۵ بررسی سیستم حفاظت کاتدی برروی پوشش ها

امروزه خوردگی شیمیایی فلزات از جمله مشکلات اساسی و هزینه ساز صنایع بزرگ به خصوص صنعت نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاهی، آب و فاضلاب و ... می‌باشد. لوله‌های انتقال و توزیع سوخت و آب، اسکله ها، کشتیها، کندانسورها، دکل‌های انتقال نیرو، مخازن ذخیره سوخت و دیگر سازه های مدفون (و یا غوطه ور) در یک الکترولیت، متناسب با شرایط موجود و با توجه به ساختار متالورژیکی خورده شده و بعد از مدتی سیستم را مختل کرده و منجربه ضرر و زیانهای غیر قابل پیش بینی می شوند.

این مبحث باعث انگیزه انجام تحقیقات وسیعی در این زمینه شده است تا روش‌های عملی مقابله با خوردگی شیمیایی فلزات به عرصه ظهور برسد.

حفاظت کاتدی اولین بار توسط همفری دیوی، در سال۱۸۲۴ میلادی، در شهر لندن و در میان سلسله مقالاتی که ایشان به انجمن سلطنتی ارائه می‌کردند، مطرح گردید. بعد از یک سری آزمایشات موفق، اولین استفاده عملی از این فناوری جدید در همان سال و در رزم ناو اچ ام اس سمرینگ به وقوع پیوست. ساختار اولیه این سیستم عبارت بود از یک آند فداشونده که از آهن ساخته شده بود که اطراف آن غلافی از جنس فلز مس (همجنس بدنه اصلی کشتی) قرار داده بودند و به بدنه کشتی در زیر آب متصل کرده بودند و واکنش شیمیایی که بین آهن و مس انجام می‌شد، از سرعت خورده شدن فلز مس در اطراف میله آهنی می کاست و آن را حفاظت می‌کرد. این دانشمند پیشنهاد نمود که برای حفاظت کاتدی کشتی‌های با بدنه مسی قطعاتی از آهن به عنوان آندهای از بین رونده روی بدنه کشتی ها نصب شود به طوری که نسبت سطحی آهن به مس۱ به ۱۰۰ باشد. به هر ترتیب یکی از نتایجی که حفاظت کاتدی به همراه داشت، رشد و توسعه دریانوردی بود. بعد از همفری، ادموند دیوی دستگاهها و وسائل آهنی شناور در دریا را با نصب قطعاتی از فلز روی حفاظت کاتدی نمود، روبرت مالت در سال۱۸۴۰ آلیاژی از فلز روی ساخت که به عنوان آندهای از بین رونده مورد استفاده قرار گرفت. کاربرد آندهای از بین رونده ادامه داشت تا اینکه به تدریج رنگ‌های ضد زنگ ساخته شد و استفاده از آن‌ها به منظور حفاظت کاتدی و نیز صرفه جوئی در هزینه تعمیرات رواج بیشتری یافت. استفاده از پوشش‌های روی بر روی فولاد از زمانهای قدیم

MSRP group

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

(قبل از ۱۷۴۲) معمول بوده است، ولی کاربرد اعمال جریان الکتریکی جهت حفاظت کاتدی لوله‌ها و تاسیسات زیر زمینی از حدود سال ۱۹۱۰ آغاز شد و با سرعت زیاد گسترش پیدا نمود به طوری که امروزه تقریباً در تمام خطوط لوله و کابل های زیر زمینی از آن استفاده می‌شود. حفاظت کاتدی همچنین در موارد متعدد دیگر از قبیل دریچه‌ها، کانال‌ها، خنک‌کننده‌های آبی، زیر دریائی‌ها، مخازن آب، اسلکه‌ها و تاسیسات دریائی، دستگاه‌ها و وسایل مختلفی که در تماس با مواد شیمیایی هستند بکار برده می‌شود[۱۱].

۱-۵-۴ تعریف

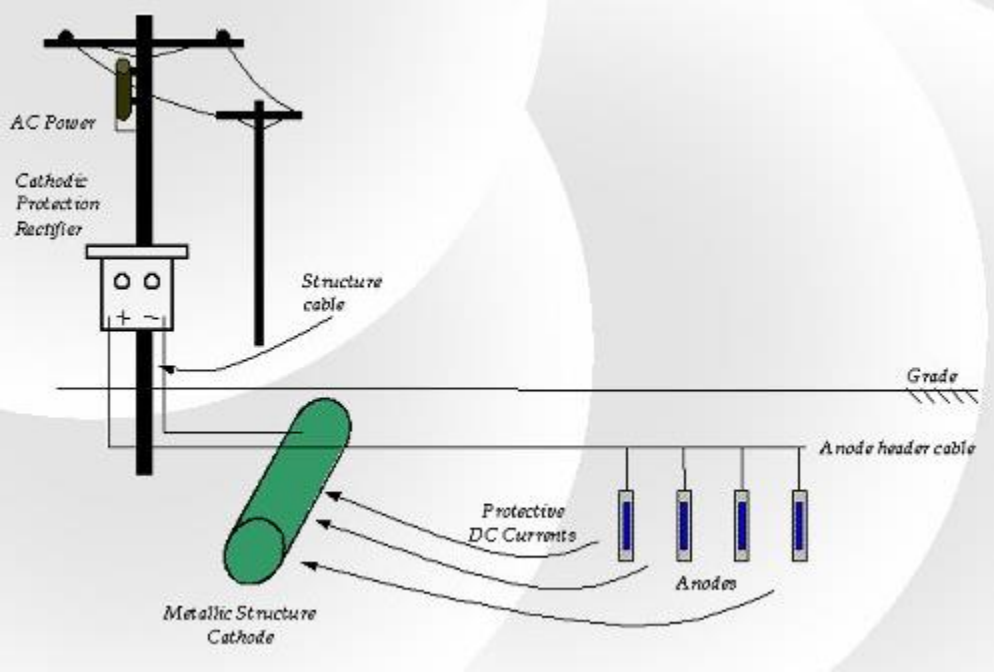
حفاظت کاتدی[1] یکی از روش‌های محافظت از خوردگی فلزات توسط کاتد قرار دادن سطح فلز در یک سلول الکتروشیمیایی است. فولاد گالوانیزه یک نمونه حفاظت کاتدی فولاد توسط اتصال روی به فولاد در گالوانیزاسیون است.

حفاظت کاتدی به عنوان موثر ترین روش حفاظتی به منظور جلوگیری از خوردگی سازه‌های مدفون در خاک شناخته شده است که به طور گسترده در حفاظت از خوردگی لوله‌های توزیع و انتقال گاز، مواد نفتی و آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲۹-۴)[۱۲].

MSRP group

[1] Cathodic Protection

WWW.MSRPCO.com
Email: Info@msrpco.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳



شکل۲۹-۴: شماتیک حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان خطوط لوله مدفون در خاک.

حفاظت کاتدی عبارت است از جلوگیری یا کاهش سرعت خوردگی فلزات توسط اعمال یک جریان الکتریکی خارجی(یکسو) و یا تماس سطح فلز مورد نظر با یک آند از بین رونده. در این حالت مناطق آندی روی سطح فلز مورد نظر تبدیل به کاتد شده و در نتیجه دستگاه یا شبکه مورد نظر کلاً کاتدی می شود. حفاظت کاتدی از مهمترین و موثرترین طرق کنترل خوردگی می‌باشد، به طوریکه با اجرای این روش می‌توان فلزات را بدون اینکه خورده شوند به مدت طولانی در محیط‌های خورنده نگهداری نمود. مکانیزم حفاظت کاتدی مربوط به جریان خارجی است که در نتیجه آن عناصر کاتدی پیل‌های موضعی به پتانسیل مدار باز آندها پلاریزاسیون می‌شوند، یعنی در این حالت تمام سطح فلز هم پتانسیل گشته (پتانسیل های آند و کاتد معادل هم می‌شوند) و جریان های خوردگی متوقف می‌گردند.

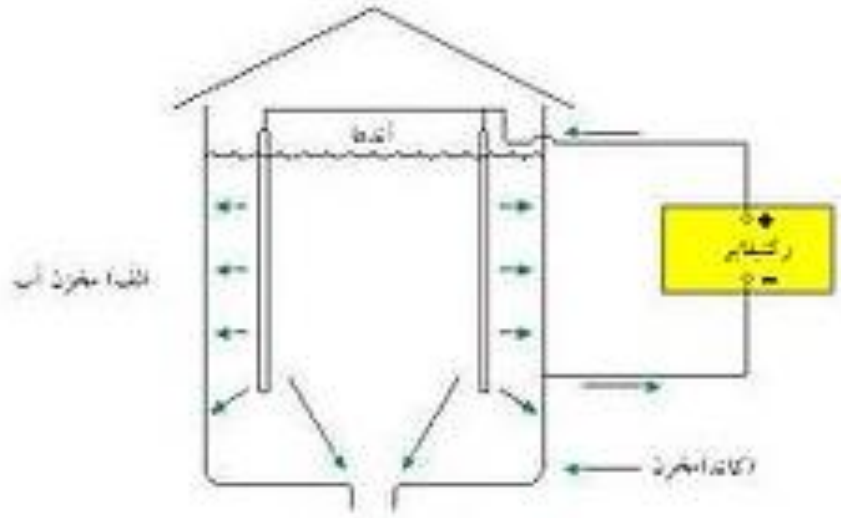
همچنین می‌توان چنین بیان کرد که به علت ایجاد یک شدت جریان خارجی شبکه‌ای از جریان مثبت در کلیه مناطق سطح فلز وارد شده و بدین ترتیب از ورود یون‌های فلز به محلول یا محیط اطراف جلوگیری بعمل می‌آید. عملیات حفاظت کاتدی را می‌توان در مورد خوردگی فلزاتی از قبیل فولاد، مس، سرب، و برنج در زمین (خاک) و

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۳۳۴۴۳۶۸۰-۰۷۷، شیراز ۳۶۳۱۲۱۰۳-۰۷۱ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

محلول‌های مختلف آبی بکار برد. به کمک حفاظت کاتدی می‌توان از خوردگی حفره‌ای فلزات روئین از جمله فولادهای ضدزنگ جلوگیری نمود.

همچنین از حفاظت کاتدی می‌توان جهت تقلیل ترک خوردگی تنشی در فلزاتی مانند برنج ها، فولادها، فولادهای ضد زنگ، منیزیم، آلومینیوم و غیره و نیز خوردگی خستگی در اغلب فلزات، خوردگی بین دانه‌ای در فلزاتی مانند فولادهای ضدزنگ آستنیتی و یا زدایش روی در برنجها استفاده نمود.

با اعمال حفاظت کاتدی نمی‌توان از خوردگی در قسمت‌های بالائی مخازن که در تماس با آب نیستند، جلوگیری نمود، زیرا جریان اعمال شده نمی‌تواند در مناطقی از فلز که در تماس با الکترولیت نیست وارد شود (مانند سطح داخلی لوله ها) که در این صورت بایستی آندهای کمکی داخل لوله‌ها کار گذاشته شوند (شکل ۳۰-۴)[۱۳].



شکل ۳۰-۴: شماتیک حفاظت کاتدی درون مخزن آب.

در خصوص پیشگیری از خوردگی لوله های مدفون، کف مخازن روزمینی و مخازن زیر زمینی نتیجه تحقیقات و آزمایشات انجام شده دو روش عمده زیر می‌باشد:

۱) استفاده از انواع پوشش

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

از آنجائیکه پوشش‌های موجود هیچ یک دارای راندمان ۱۰۰٪ نمی باشند لذا داشتن یک سیستم مکمل جهت حفاظت از خوردگی سازه‌های مدفون الزامی به نظر می‌رسد. روش تکمیلی یاد شده سیستم حفاظت کاتدی می‌باشد که در این روش با کاتد کردن سازه در حال خورده شدن (که قبلاً آند بوده است) می‌توان از خوردگی آن جلوگیری نمود.

کاتد کردن سازه با جایگزینی یک منبع تامین کننده الکترون انجام پذیر است که این منبع تامین کننده یک منبع الکتریکی و یا یک فلز فعال تر (آندتر) از سازه مدفون می‌باشد. بدیهی است استفاده از هریک از روش‌های یاد شده مستلزم صرف هزینه های اقتصادی می‌باشد؛ ولی با یک بررسی کارشناسی می‌توان نتیجه گرفت که صرف هزینه‌های اولیه جهت پوشش دادن سازه و نصب سیستم حفاظت کاتدی نه تنها از خطرات جانبی در آینده جلوگیری می‌کند بلکه هزینه‌های مربوط به تعویض قطعات، تعمیرات و جبران خسارات و زیان‌های وارده را کاهش داده و هزینه‌های لازم جهت نصب چنین سیستم هایی را از نظر اقتصادی توجیه می‌کند.

عوامل بسیاری در تعیین و انتخاب روش حفاظت کاتدی موثر می‌باشند که از آن جمله می‌توان به شرایط الکترولیت، امکان دسترسی به برق، امکان وجود بازرسی‌های آتی، شرایط سازه‌های مجاور، جریان‌های سرگردان، نوع و کیفیت پوشش، مدت زمان طراحی سیستم، شرایط اقتصادی و ... اشاره نمود.

شرایط اقتصادی یکی از مهمترین عوامل موثر در انتخاب سیستم می باشد که در نهایت باید یک حالت بهینه فنی-اقتصادی ایجاد شود. در اصل، طراحی یک سیستم حفاظت کاتدی زمانی موفقیت آمیز خواهد بود که تمامی شرایط فوق درآن مد نظر قرار گرفته باشد[۱۱, ۱۲].

۲-۵-۴ اجرای عملی حفاظت کاتدی

برای اجرای سیستم حفاظت کاتدی دو روش کلی وجود دارد:

MSRP group

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

۱) با استفاده از اعمال جریان خارجی یکسو که در این روش از منبع جریانی مانند ژنراتور، رکتیفایر (یکسو کننده) و یا باطری همراه با یک آند کمکی که معمولاً از جنس آهن یا گرافیت است استفاده می‌شود.

۲) با استفاده از آندهای از بین رونده که در آن فلزات فعالی مانند منیزیم یا روی را به عنوان‌آند به کار می‌برند.

۱-۲-۵-۴ حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان

برخلاف روش آندهای فداشونده، در روش جریان اعمالی به یک منبع خارجی جهت تامین جریان مورد نیاز برای حفاظت نیاز می‌باشد. جنس آندهای مورد استفاده در این روش به دلیل عدم تجزیه آن‌ها مهم نمی‌باشد. در این روش آندها نسبت به سازه مثبت نگه داشته شده که این عمل توسط یک منبع جریان مستقیم انجام می‌گیرد. منبع جریان یکسو را به این ترتیب در سیستم قرار می‌دهند که قطب مثبت آن متصل به آند کمکی و قطب منفی آن به فلز مورد نظر وصل شود. به طوریکه جریان در داخل الکترولیت از آند به سمت فلز مورد نظر برقرار می‌گردد.

ولتاژ اعمال شده باید به مقداری تنظیم شود که بتواند شدت جریان کافی برای تمام نقاط دستگاهی که تحت حفاظت کاتدی قرار گرفته است تامین نماید. در مورد خاک‌ها یا آب‌های با مقاومت زیاد ولتاژ اعمال شده باید بیشتر از محیط‌هایی با مقاومت کم باشد. همچنین هنگامی که طول زیادی از یک خط لوله فقط به وسیله یک آند حفاظت می شود به ولتاژ اعمال شده بیشتری نیاز است. اجرای سیستم حفاظت کاتدی اغلب در مورد لوله‌ها و پوشش کابل های زیر زمینی بکار می‌رود. در شبکه‌های لوله کشی شهرها و خطوط لوله طویل و سرتاسری و کابل کشی های مخابرات و نیرو(برق) اغلب از سیستم‌های با اعمل جریان خارجی استفاده می گردد. وقتی که در مورد تاسیسات طویل زیر زمینی نظیر لوله‌ها و کابل های پتانسیلی جریان برق اعمال می‌شود، جریان معمولاً در تمام طول آن تاسیسات وارد شده و به طرف محل اتصال می‌رود، و چون این قبیل تاسیسات از نظر الکتریکی متصل است لذا جریان‌های طولی مسئله‌ای را به وجود نمی‌آورند. ولی در بعضی لوله کشی ها ممکن است نقاط اتصالی وجود داشته باشد که دارای مقاومت الکتریکی زیادی بوده و در نتیجه جریان‌های طولی، مناطق آندی در

MSRP group

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

یک طرف نقاط اتصال ایجاد می‌گردد. به همین منظور و قبل از اجرای عملیات حفاظت کاتدی لازم است که در این قبیل موارد اتصال الکتریکی مناسب تامین شود[۱۲, ۱۳].

یک سیستم اعمال جریان باید شامل یک یا چند ایستگاه به عنوان منبع جریان DC، بستر آندی و کابل هادی جریان باشد. موقعیت این ایستگاه ها در طول خط لوله بستگی به امکان دسترسی به نیروی برق متناوب و میزان کاهش پتانسیل دارد. کاهش میزان حفاظت یک خط لوله از محل نصب سیستم حفاظت کاتدی نیز بستگی به مقاومت طولی خط لوله و هدایت پوشش لوله دارد.

معیار احداث بسترهای آندی عمودی و افقی بایستی بر اساس استاندارد IPS-C-TP-820 بوده و انتخاب محل بسترهای مذکور بایستی پس از بررسی نتایج مربوط به بازرسی و کنترل محیطی صورت پذیرد. حداقل فاصله بستر آندی از خط لوله مدفون یا سازه های مجاور بستگی به مقدار جریان مورد نیاز سیستم داشته و با افزایش مقدار جریان این فاصله نیز افزایش خواهد یافت[۱۴].

معیار این فاصله عبارتست از : ۵۰ متر برای ۳۰ آمپر، ۱۰۰متر برای ۵۰ آمپر، ۲۰۰ متر برای ۱۰۰ آمپر و ۳۰۰ متر برای ۱۵۰ آمپر. ابعاد کابل‌های مورد مصرف در این سیستم‌ها باید به گونه ای انتخاب شوند که در زمانیکه حداکثر جریان طراحی از مدار عبور می کند، میزان افت ولتاژ کمتر از ۵ درصد باشد. اطلاعات مربوط به کابل‌ها و سیم‌های مورد مصرف در این نوع سیستمها در استاندارد IPS-M-TP-750 و DIN VDE 027 موجود می‌باشد. تمامی کابل‌های مربوط به خروجی از قطب مثبت رکتیفایر به بسترهای آندی باید پیوسته بوده و حداکثر ۱۵۰ متر طول داشته باشند[۱۵].

۲-۲-۵-۴ آندهای مورد مصرف در روش اعمال جریان:

۱- آند چدن پر سیلیس (سیلیکون)

۲- آند آلیاژ دور یکلر

MSRP group

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

۳- آند چدن پر سیلیس کروم دار

۴- آند پلاتینیوم

۵- آند چدن پرسیلیس مولیبدن دار

۶- آند گرافیتی

عمده ترین آندی که در روش اعمال جریان مورد استفاده دارد آند چدن پرسیلیس می‌باشد، این نوع آندها در پشت بندهای کربنی کارآیی آندهای گرافیتی را داشته و در خاک‌هایی با مقاومت ویژه کم نسبت به آندهای گرافیتی عملکرد بهتری دارند. همچنین امکان استفاده از این آندها در دانسیته جریان های بالا وجود دارد. عناصر تشکیل دهنده این نوع آلیاژ عبارتند از : 0.7%Mn , 14.4% Si , 0.95%C و مابقی Fe .

کارآیی یک آند با نحوه نصب آن دارای رابطه مستقیم می باشد، به قسمی که یک عایق بندی ضعیف در محل اتصال به واسطه خوردگی حفره ای به مقدار قابل توجهی از کار آیی آند می کاهد. عمر مفید آندهای مذکور معمولاً تا زمانی در نظر گرفته می‌شوند که قطر آنها در حدود ۳۳٪ کاهش یابد که البته این مقدار بستگی به قطر اولیه و میزان خوردگی حفره ای و همچنین تنش‌های مکانیکی دارد. بنابراین دو برابر کردن سطح مقطع آند عمر مفید را بیش از دو برابر افزایش خواهد داد.این نوع آلیاژ دارای مقاومت بسیار بالایی در بسیاری از محیط‌های خورنده می‌باشند[۱۲, ۱۳].

۳-۲-۵-۴ حفاظت کاتدی به روش آند فدا شونده

فلزات در حالت پایدار خود به صورت اکسید و یا سنگ معدن وجود دارند. بنابراین حالت فلزی تمایل جهت بازگشت به حالت پایدار یعنی حالت اکسیدی دارد. پدیده بازگشت فلز به حالت اکسید فلز، خوردگی نامیده می شود. خوردگی یک فرایند الکترو شیمیایی است که در آن تبادل الکترون انجام می شود.

MSRP group

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

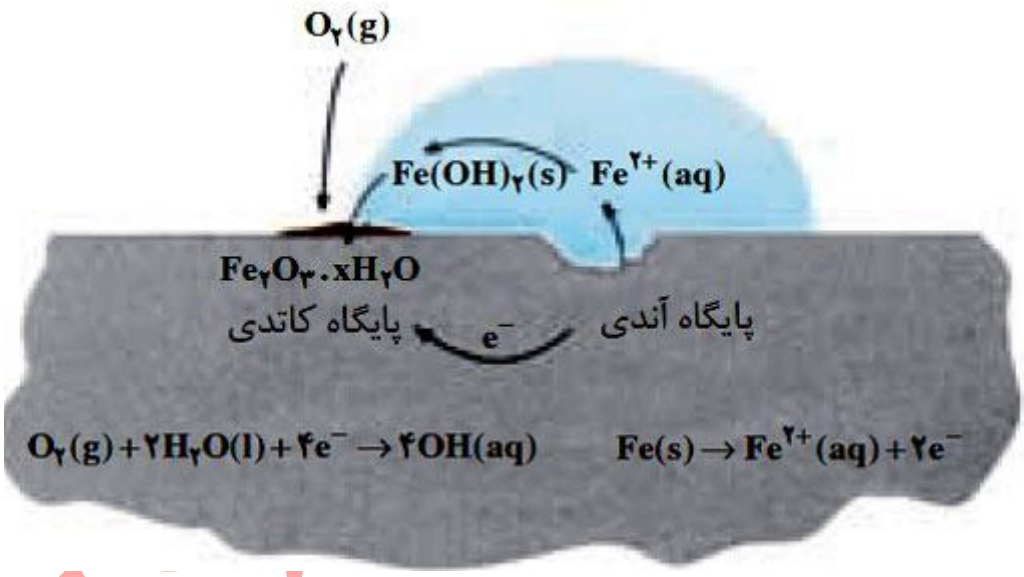
شکل عمومی واکنش اکسیدی یا خوردگی بصورت زیر است :

واکنش ۱ $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$

مثلا در مورد آهن :

واکنش ۲ $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

الکترون بوجود آمده در سطح فلز حرکت کرده و خود را به نواحی کاتدی (نواحی که در واکنش خود نیاز به الکترون دارند) می رساند (شکل ۳۱-۴).



شکل ۳۱-۴: واکنش های آندی و کاتدی روی سطح آهن در حضور آب.

در الکترولیت های اسیدی واکنش کاتدی به صورت آزاد شدن گاز هیدروژن می باشد.

واکنش ۳ $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

در شکل ۳ ناحیه آندی و کاتدی و تبادل الکترون بین آنها مشاهده می شود. در الکترولیت های خنثی واکنش حفاظت کاتدی شامل مصرف شدن اکسیژن می باشد[۱۲].

WWW.MSRPCO.com
Email: Info@msrpco.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

بنابراین خوردگی در آند انجام می شود و در کاتد خوردگی رخ نمی دهد. اساس حفاظت کاتدی به روش آند فدا شونده نیز مشابه واکنش‌های بالا بر مبنای خوردگی یا فدا شدن آند و محافظت کاتد استوار است. در این حالت آند و کاتد دو فلز متفاوت بوده که دارای ارتباط الکتریکی با یکدیگر می باشند. برای روشن تر شدن موضوع مثال دیگری ارائه می شود.

فرض کنید دو فلز آهن و روی بدون ارتباط الکتریکی با یکدیگر در ظرف حاوی اسید ضعیف هیدروکلوریک (HCl) قرار گرفته باشند.

در این حالت هر دو فلز خورده می شوند. به عبارت دیگر واکنش‌های خوردگی دو فلز به طور مستقل از یکدیگر انجام می‌شود. اگر دو فلز در همان اسید، ارتباط الکتریکی با یکدیگر داشته باشند تقریبا تمام واکنش اکسیداسیون در فلز روی متمرکز می شود و واکنش احیا یون هیدروژن روی سطوح آهن انجام می شود.

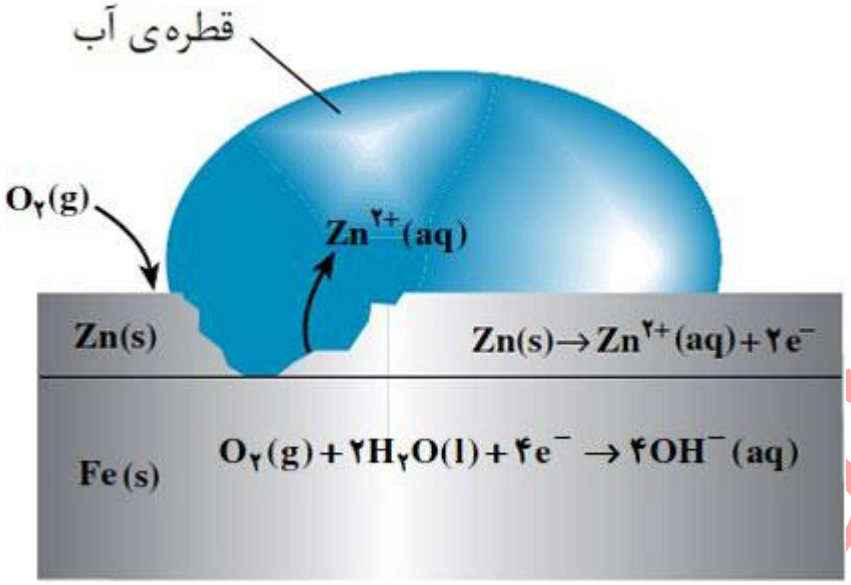
در این حالت اکسیداسیون آندی در فلز روی رخ داده و خوردگی در فلز آهن تقریبا متوقف می شود. به عبارت دیگر آند روی بطور کاتدی موجب حفاظت خوردگی آهن که نقش کاتد دارد می شود. البته ممکن است مقداری خوردگی در آهن رخ دهد. مقدار این واکنش‌ها بستگی به اندازه فلز روی و آهن در ظرف مزبور دارد. با طراحی صحیح می توان سرعت خوردگی در کاتد را به مقدار قابل صرف‌نظر رساند. این حالت اصطلاحا حفاظت کاتدی نامیده می شود.

بنابراین کلیه سیستم های حفاظت کاتدی نیاز به کاتد، آند، الکترولیت و ارتباط الکتریکی بین کاتد و آند دارند. بر این اساس امکان اجرای حفاظت کاتدی در محیط اتمسفر وجود ندارد. هوا الکترولیت ضعیف بوده و امکان تبادل جریان بین آند و کاتد وجود ندارد.

با اتصال الکتریکی یک صفحه روی به صفحه آهنی، عمده واکنشهای اکسیداسیون در سطح فلز روی وعمده واکنش احیا در سطح فلز آهن انجام شده و تقریبا خوردگی آهن متوقف می شود (شکل ۳۲-۴).

MSRP group

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳



شکل ۳۲-۴: حفاظت کاتدی آهن در فولاد گالوانیزه.

در صورتی که آند کمکی نسبت به فلزی که باید حفاظت شود بر طبق جدول سری گالوانیکی فعالتر باشد پیل گالوانیکی به وجود می‌آید. در صورت استفاده از این نوع آندها که آنها را آندهای از بین رونده می نامند، دیگر نیازی به منبع جریان خارجی یا یکسو کننده نمی‌باشد. اختلاف پتانسیل بین آندهای از بین رونده و فلز مورد حفاظت سبب تخلیه جریانی از طرف محیط به سمت فلز می‌گردد. آندهای از بین رونده که برای حفاظت کاتدی به کار می‌روند اغلب منیزیم و آلیاژهای آن و در برخی موارد روی و آلومینیوم می‌باشند. اصولاً آندهای از بین رونده به عنوان منابع انرژی الکتریکی عمل می نمایند، اهمیت آنها مخصوصاً در مواردی است که امکان دسترسی به نیروی برق وجود نداشته و یا در نقاطی که نصب خطوط نیرو با صرفه نباشد[۱۲, ۱۳].

۴-۵-۲-۴ اجزای تشکیل دهنده سیستم حفاظت کاتدی به روش آند فدا شونده :

۱- آند فدا شونده :

آند هایی که در روش آند فدا شونده بکار می روند شامل آند های روی، آلومینیوم و منیزیم می باشد.

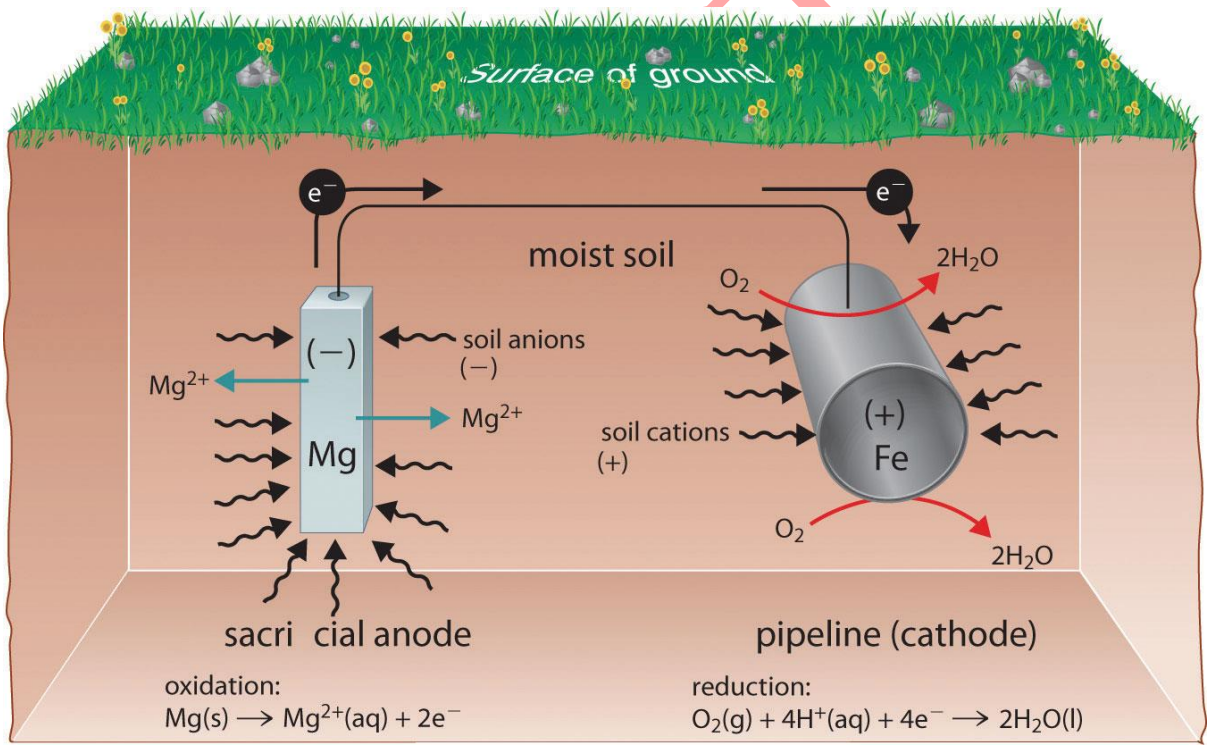
آندهای روی:

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

آند های روی معمولا در آب دریا و یا آب های شور بکار می روند. بعضی مواقع از آن‌ها برای سازه‌های مدفون در خاک نیز استفاده می شود. این آند ها از وزن ۵ الی ۲۵۰ و در اشکال مثل صفحه‌ای، چهار گوش و میله‌ای و نیز به شکل نوار موجود می باشد. این آندها به صورت ریخته گری و یا اکسترود شده موجود می باشد.

آندهای منیزیم:

منیزیم متداول ترین ماده جهت حفاظت سازه های مدفون در خاک است (شکل ۳۳-۴). از آند های منیزیمی همچنین در محافظت داخل مخازن آب، مبدل‌های حرارتی، کندانسورها و اسکله‌های دریایی استفاده می‌شود. این آندها به صورت ریخته گری و یا اکسترود شده در وزن‌های ۱ الی ۲۰۰ پوند و با شکل های متفاوت موجود می باشند.



شکل۳۳-۴: حفاظت کاتدی لوله فولادی توسط آند فداشونده منیزیم زیر خاک.

آندهای آلومینیوم:

WWW.MSRPCO.com
Email: Info@msrpco.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

آندهای فدا شونده آلومینیومی معمولا برای آب دریا بکار می روند ولی امکان استفاده از این آندها در آب شیرین و یا خاک نیز وجود دارد. در ترکیب های شیمیایی آند های آلومینیومی جیوه وجود دارد. مقدار جیوه موجود در ترکیب آلیاژ کم می باشد ولی با مصرف شدن آند، درصد جیوه در آلیاژ باقیمانده بالا خواهد رفت[۱۱, ۱۲, ۱۶].

بر اساس نوع کاربرد آند های آلومینیومی در محیط دریا ، این آند ها دارای دسته بندی زیر می باشند (جدول ۹-۴):

الف) نوع ۱ (برای حالت غوطه ور در آب دریا)

ب) نوع ۲ (برای بکارگیری در گل و لای و رسوبات بستر دریا)

ج) نوع ۳ (برای ناحیه بستر دریا (زیر رسوبات)، ناحیه غوطه وری و یا بکارگیری در آبهای شور می باشد)

جدول۹-۴: انواع آندهای فداشونده آلومینیومی با توجه به ترکیب شیمیایی

عنصر	Type I	Type II	Type III
Zn	0.35% - 0.50%	3.5% - 5.0%	3.0%
Si	0.10% max	-	0.1%
Hg	0.035% - 0.048%	0.035% - 0.048%	-
In	-	-	0.015%
Al	باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده

۲- الکترولیت :

همانطور که در بخش قبلی اشاره شد، انجام واکنش های کاتدی و آندی و نیز حرکت یون‌ها مشروط به وجود الکترولیت خواهد بود. بنابراین در محیط هایی که الکترولیت وجود ندارد و یا مقاومت الکترولیت به حدی بالا می باشد که تبادل یون ها امکان پذیر نمی باشد، انجام حفاظت کاتدی امکان پذیر نمی باشد[۱۳].

۳- سازه فلزی یا کاتد :

سازه تحت حفاظت باید بتواند به خوبی جریان حفاظت کاتدی را از خود عبور دهد.

WWW.MSRPCO.com
Email: Info@msrpco.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

۳-۵-۴ انواع بسترهای آندی:

معمولاً با توجه به اطلاعات بدست آمده از منطقه و اطلاعات حاصل از اندازه گیری مقاومت خاک و همچنین تجمع و محل استقرار دیگر تاسیسات، ساختمان‌ها و سازه ها ، نوع و تعداد بستر انتخاب و در بخش طراحی با توجه به آن اقدامات لازم جهت انجام محاسبات صورت می‌گیرد.

با توجه به شکل فیزیکی و نوع پشت بند مصرفی، بستر های آندی به دو دسته عمده بسترهای آندی سطحی و بسترهای آندی عمیق تقسیم می‌شوند:

۱- بستـرهای آندی سطحی :

این نوع بسترها که عمق بستر بندرت به بیش از ۵ متر میرسد، خود به دو دسته عمده زیر تقسیم می‌شوند:

الف ـ بستر آندی افقی :

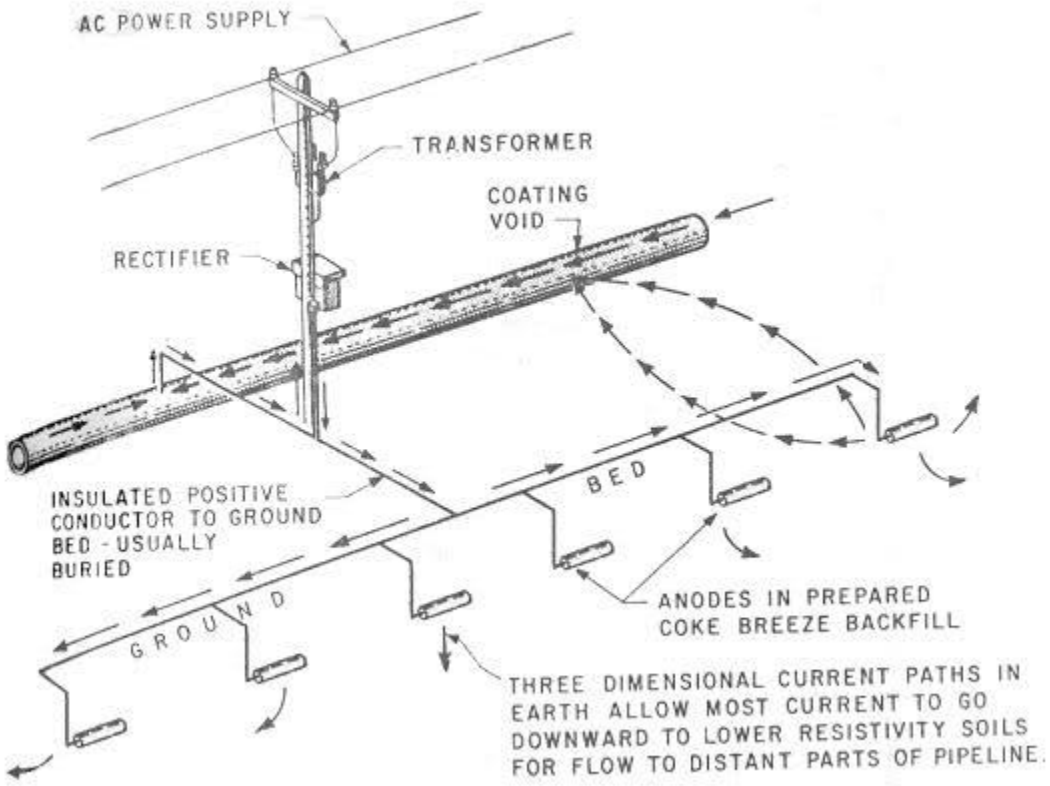
در این نوع بسترها، آندهای مورد مصرف به شکل افقی و در کانالی به عرض ۶۰ سانتی متر و به عمق ۲ الی ۳ متر و به فاصله مرکز به مرکز ۳ الی ۸ متر از یکدیگر قرار می‌گیرند.

پشت بند این نوع بسترها کک می‌باشد که بایستی به ضخامت ۱۵ سانتی متر زیر و روی آندها را بپوشاند به عبارت دیگر استوانه ای به قطر ۳۰ سانتی متر (یک فوت) و به طول بستر آندی از کک کوبیده شده پر می شود که آندها در مرکز آن قرار گرفته‌اند (شکل ۳۴-۴). در این نوع بسترها جهت انتقال گازهای حاصل از واکنش‌های شیمیایی به سطح زمین از لوله های ونت به قطر ۴ الی ۸ اینچ و از جنس آزبست استفاده می‌شود.

این نوع بستر بدلیل صرفه اقتصادی در حفاری و آماده سازی بستر و استقرار آندها بیشتر از بسترهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی بدلیل آنکه در این بسترها با تعداد آند زیاد به حفاری در طول زیادتری نیازمی باشد و لذا در اماکن و مناطقی که از بابت تملک زمین و تجمع سازه ها و تاسیسات دیگر محدودیت دارد استفاده از چنین بسترهایی محدودیت خواهد داشت[۱۲].

MSRP group

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳



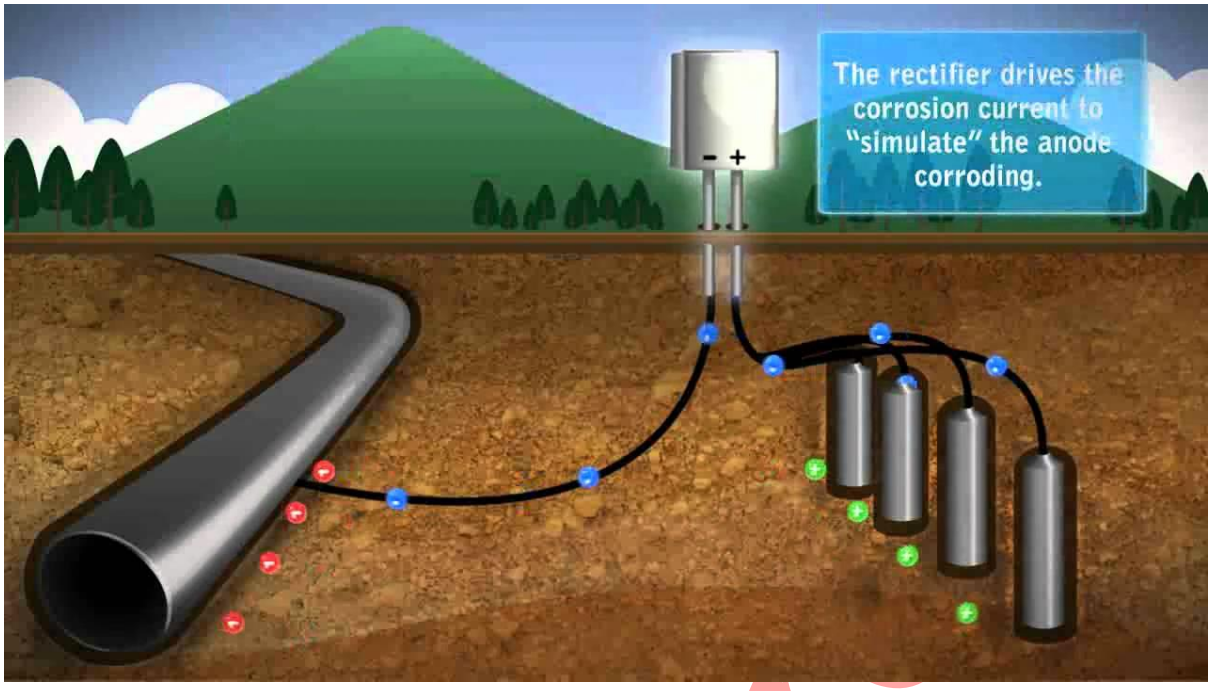
شکل ۳۴-۴: شماتیک بستر آندی سطحی افقی.

ب - بستر آندی عمودی :

در این نوع بسترها که بیشتر در شبکه های توزیع گاز طبیعی، نفت، آب، مخازن ذخیره سازی و ... استفاده می شود، آندها به صورت عمودی و در کانالهایی به قطر ۳۰ الی ۵۰ سانتی متر و به عمق حدود ۳ متر و به فاصله مرکز به مرکز ۳ الی ۱۰ متر از یکدیگر قرار می گیرند که پشت بند ککی آندها بایستی به قطر حداقل ۳۰ سانتی متر دور تا دور آندها را پرکند (شکل ۳۵-۴). در این نوع بسترها نیز از لوله های ونت جهت تسهیل درخروج گازهای حاصل از واکنش‌های شیمیایی استفاده به عمل می آید[۱۱, ۱۲].

MSRP

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳



شکل ۳۵-۴: شماتیک بستر آندی عمودی سطحی.

۲- بسترهای آندی عمیق :

از بسترهای آندی عمیق در مناطقی که طبقات بالایی خاک مقاومت مخصوص بالایی داشته و یا امکان ایجاد بسترهای آندی افقی و عمودی غیر ممکن باشد و همچنین در مواقعی که تجمع سازه های مدفون وجود داشته باشد، استفاده می شود. این نوع بسترها عبارتند از:

الف - بستر آندی چاهی خشک :

در این نوع بسترها آندها به صورت عمودی و در یک راستا در کانالی به قطر ۳۰ الی ۵۰ سانتی متر و به عمقی که بستگی به تعداد آندها دارد قرار می‌گیرند. در این نوع بستر پشت بندآندها کک می باشد و لوله ونت مصرفی از جنس فولاد گالوانیزه می باشد. عمق این نوع بستر بستگی به تعداد آندهای مصرفی دارد، به عبارت دیگر با توجه به اینکه فاصله مرکز به مرکز آندها عموما ۳ متر می باشد و اولین آند تا سطح زمین بایستی حداقل ۱/۵ متر و آخرین آند تا انتهای بستر حداقل ۰/۵ متر فاصله داشته باشد، لذا می توان در محاسبات عمق بستر را بدست آورد. ولی لازم به ذکر است که بنا به نظر طراح فاصله ها و عمق مذکور قابل تغییر می باشد.

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

ب - بستر آندی چاهی تر :

این نوع بستر تشابه زیادی با بستر آندی چاهی خشک دارد با این تفاوت که در این نوع بستر پشت بند مصرفی برای آندها آب می باشد، به عبارت دیگر عمق این نوع بسترها بستگی به عمق سفره های آب زیرزمینی دارد، یعنی بایستی حفاری تا عمقی انجام پذیرد که آب کل عمق بستر را در برگرفته و حداقل ۱۲ متر از سطح آند اول بالاتر قرارگیرد.

در این نوع بستر آندها به وسیله طناب مخصوص و با استفاده از قرقره در مرکز چاه قرار می گیرند و فاصله مرکز به مرکز آنها که بایستی حدود ۳ متر باشد به وسیله طناب ها تنظیم می‌گردد.

کابل آندها مانند بستر چاهی خشک بوسیله دو راهی اتصال کابل به کابل بستر متصل شده و از هر آند یک کابل به باند باکس مثبت که معمولا یک باند باکس هشت ترمیناله می باشد اتصال پیدا می کند. در این نوع بستر جهت جلوگیری از ریزش کانال معمولا از یک لوله فولادی به قطر ۱۲ اینچ (قطر بستر) و به طول بستر استفاده می‌گردد. از این نوع بسترها بدلیل هزینه بالای حفاری و نصب آندها در مواقع خاصی استفاده می‌گردد[۱۱, ۱۲].

۴-۵-۴ نحوه حصول اطمینان از عملکرد یک سیستم حفاظت کاتدی :

پس از نصب یک سیستم حفاظت کاتدی، جهت حصول اطمینان از عملکرد سیستم، باید اختلاف پتانسیل بین خاک و سازه فلزی مدفون اندازه گیری شود. اساس این اندازه گیری اعمال یک جریان (حاصل از اختلاف پتانسیل بین خاک و سازه تحت حفاظت) می‌باشد. اختلاف پتانسیل مذکور در اثر افت ولتاژ سازه مدفون، مقاومت بین سازه و خاک و در نهایت پلاریزاسیون می‌باشد. واضح است که با توجه به شرایط خاک از نظر مقاومت الکتریکی و درجه عایقی پوشش مصرفی و سطح لوله، مقدار جریان مورد نیاز جهت جلوگیری از خوردگی سطح سازه مدفون، متفاوت خواهد بود. لذا نمی‌توان مقدار جریان را به عنوان معیاری جهت ارزیابی نحوه عملکرد سازه مدفون تحت حفاظت کاتدی استفاده نمود. بنابراین پتانسیل جدیدی را که لوله بعد از اعمال جریان حفاظتی اختیار خواهد کرد به عنوان معیار محسوب می‌نمایند. استانداردهایی جهت کمک به اندازه گیری نحوه عملکرد یک سیستم حفاظت

MSRP group
WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

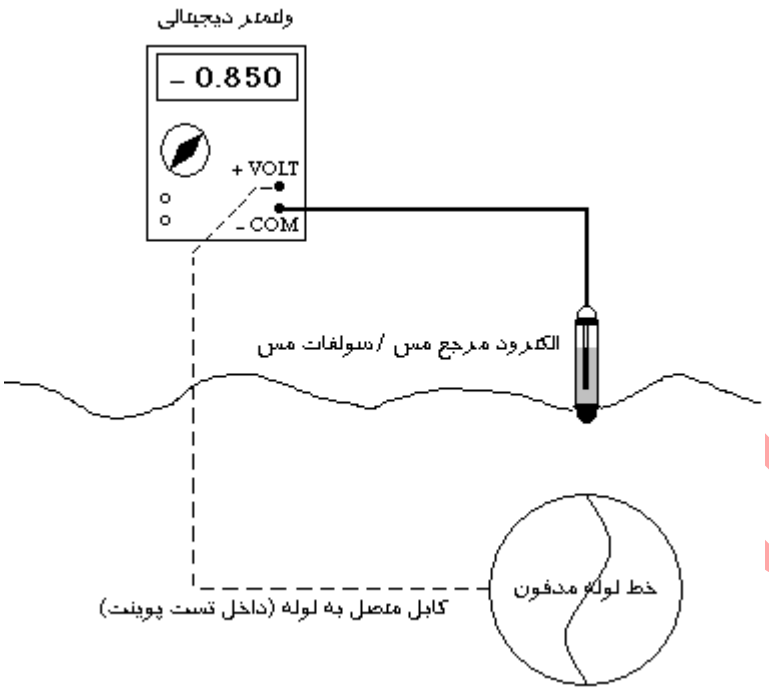
کاتدی تهیه شده است که در بخش معیار های حفاظت کاتدی به آن اشاره گردید. معیار فوق برای سازه ای از جنس فولاد در الکترولیتی مانند خاک برابر**۸۵۰mv –** می‌باشد. مقدار منفی بیانگر این واقعیت است که سازه نسبت به خاک از پتانسیل منفی تری برخوردار بوده و جریان حفاظت کاتدی به سمت محیط های آندی جریان دارد.

اندازه گیری این اختلاف پتانسیل بایستی در فواصل مکانی و زمانی مشخص که توسط طراح سیستم تعیین می‌گردد انجام پذیرد. در فواصل مکانی مشخصی که حداقل هر ۵۰۰ متر و حداکثر هر ۱۰۰۰ متر می‌باشد با نصب یک ایستگاه اندازه‌گیری پتانسیل آسان‌تر خواهد گردید. این ایستگاه که تست پوینت[1]نامیده می‌شود شامل جعبه ای است که کابل متصل شده به لوله (و یا هر سازه فلزی تحت پوشش سیستم حفاظت کاتدی) به روش جوش احتراقی[2]در آن مستقر گردیده است (شکل ۳۶-۴). تا اندازه گیری مذکور توسط یک ولت‌متر و نیم پیل مرجع مس-سولفات مس انجام پذیرد. استفاده از نیم پیل مرجع دائمی در کف مخازن روزمینی با قطر زیاد از جمله مواردی است که طراح جهت سهولت و امکان انجام این اندازه گیری بایستی به آن توجه داشته باشد.

معیار اختلاف پتانسیل یاد شده بستگی به شرایط محیطی متفاوت خواهد بوده به عنوان نمونه در صورتیکه وجود خوردگی میکروبیولوژی در خاک منطقه وجود داشته باشد، این معیار یعنی ۸۵۰ mV حداقل ۱۰۰mVشیفت پیدا کرده و به ۹۵۰ mV می‌رسد به عبارت دیگر در مناطقی که خوردگی میکروبیولوژی در خاک منطقه وجود داشته باشد این معیار حداقل ۹۵۰ mV خواهد بود. همانطور که این معیار دارای حداقل می‌باشد بدیهی است که دارای رنجی به عنوان حداکثر مقدار مجاز نیز باشد. حداکثر مقدار این معیار بستگی به نوع پوشش لوله دارد. بدین ترتیب که اگر پوشش لوله از نوع سرد باشد این مقدار نبایستی از ۱۶۰۰ mV تجاوز نماید و در صورتیکه پوشش لوله از نوع گرم باشد حداکثر مقدار مجاز این معیار ۲۲۰۰ mV خواهد بود. در صورتیکه حداکثر معیار فوق رعایت نشود پوشش لوله آسیب دیده و تخریب پوشش را به دنبال خواهد داشت [۱۲-۱۴].

[1]TEST POINT
[2]CADWELD

MSRP group
WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳



شکل ۳۶-۴: شماتیک بررسی پتانسیل سازه مدفون در خاک با الکترود مرجع در ایستگاه تست.

۴-۵-۵ مزایا و معایب سیستم آند فدا شونده نسبت به روش اعمال جریان :

مزایا :

- سادگی سیستم و همچنین کمتر بودن تجهیزات آن نسبت به روش اعمال جریان (نیاز به ترانس و رکتیفایر ندارد).

- قابلیت اعتماد آن بیشتر از روش اعمال جریان بوده ودر نتیجه پایش آن از اهمیت کمتری نسبت روش اعمال جریان بر خوردار است. ضریب اطمینان سیستم آند فداشونده در حدی است که در بعضی کتاب ها از اصطلاح "پس از نصب و اجرا آن را فراموش کن"جهت بیان ضریب اطمینان بالای این روش استفاده می شود.

[1]fit and forget

WWW.MSRPCO.com
Email: Info@msrpco.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

- در سیستم اعمال جریان کابل متصل به آند ها در شرایط بحرانی قرار دارد و چنانچه پوشش آن دچار آسیب شود, بر اثر بروز خوردگی در کابل مسی و قطع شدن آن، آندها از مدار خارج می شوند. در سیستم آند فدا شونده کابل متصل به آند ها در پتانسیل منفی قرار داشته و شرایط بحرانی روش اعمال جریان وجود ندارد.

- هزینه نصب و نگهداری آند فدا شونده کمتر از روش اعمال جریان است.

- امکان بروز تداخل جریان و بروز حفاظت بیش از حد در سیستم هایی که در آنها روش آند فداشونده بکار رفته است تقریبا صفر است.

معایب :

- در سیستم آند فدا شونده اختلاف پتانسیل بین آند وکاتد، عامل ایجاد جریان حفاظت کاتدی می‌باشد. بدلیل محدودیت پتانسل متحرکه، جریان خروجی از آند ها محدود و کم می باشد و آند ها باید در اطراف سازه ها و در فاصله کمی از آن توزیع شود. به عبارت دیگر سطحی که توسط یک آند حفاظت می شود کوچک و محدود خواهد بود. در روش اعمال جریان بدلیل آنکه محدودیت نیروی محرکه وجود ندارد، می توانند در فاصله دور از سازه تحت حفاظت قرار گیرند. این سیستم‌ها را سیستم‌های آندی راه دور[1] می نامند.

- جریان لازم توسط خوردگی ذاتی آندها تامین می‌شود بنابراین درصدی از آند صرف حفاظت از سیستم و مقداری از آن در اثر خود خوری آند از بین خواهد رفت.

- بدلیل آنکه آندها در اثر قربانی شدن، جریان لازم برای حفاظت کاتدی را فراهم می آورند بنابراین در فواصل زمانی مشخص باید با آندهای جدید جایگزین شوند.در روش اعمال جریان معمولا آندها از جنس فلزات یا مواد مقاوم در برابر خوردگی هستند و بنابراین عمر آن‌ها و یا زمان تعویض آن‌ها طولانی‌تر خواهد بود.

- جریان خروجی از آند های فدا شونده، قابل کنترل نمی باشد. پوشش اعمال شده بر روی سازه های فلزی با گذشت زمان دچار آسیب های مختلفی خواهد شد و بنابراین جریان لازم جهت حفاظت کاتدی افزایش خواهد

[1]Remote groundbed system

MSRP group

WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

یافت، اگر طراحی سیستم به گونه‌ای باشد که درآن، آند مازاد در نظر گرفته نشده باشد، برای تامین جریان مورد نیاز بایستی آندهای جدید بر روی سیستم نصب شود. در روش اعمال جریان، جریان خروجی از آندها توسط ترانس رکتیفایر قابل تنظیم است[۱۱, ۱۲, ۱۷].

۶-۵-۴ نقش پوشش در حفاظت کاتدی

بکارگیری پوشش برروی سطح فلزات باعث کاهش شدید جریان لازم جهت حفاظت کاتدی می شود. بنابراین بکارگیری پوشش های مناسب و با کیفیت بالا باعث بهبود توزیع جریان حفاظت کاتدی خواهد شد. هرچه پوشش به کار برده شده مقاومت به خوردگی بیشتر و عیوب کمتری داشته باشد، جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی، کمتر است. پس باید پوششی انتخاب شود که مقاومت به خوردگی بالایی داشته باشد. بر این اساس از لحاظ اقتصادی و فنی توصیه می شود که حفاظت کاتدی به همراه پوشش بکار گرفته شود. پوشش باید دارای مقاومت الکتریکی بالا، مقاومت به خوردگی بالا و قدرت چسبندگی بالا باشد [۱۳, ۱۷]. با توجه به بررسی های انجام شده در تحقیق حاضر، در قسمت های ۱-۴، ۲-۴ و ۳-۴ مشخص گردید که چهار نوع از پوشش های بررسی شده دارای خواص چسبندگی مطلوبتری نسبت به سایر پوشش ها هستند. به طوریکه خواص چسبندگی این چهار نوع پوشش در مقایسه با پوشش FBE بهبود یافته است. این چهار پوشش عبارتند از پوشش های میکرو ساختار Al2O3(۲/۵ درصد وزنی)، SiO2(۲/۵ درصد وزنی) و پوشش های نانو ساختار Al2O3(۰/۵ درصد وزنی) و SiO2(۰/۵ درصد وزنی). به منظور بررسی مقاومت الکتریکی این پوشش ها و همچنین مقایسه مقاومت به خوردگی آنها، پوشش های نام برده شده تحت آزمون های امپدانس(جهت تعیین مقاومت الکتریکی پوشش) و پلاریزاسیون(جهت تعیین مقاومت به خوردگی) قرار داده شدند تا تعیین گردد که کدامیک از این پوشش ها (با خواص چسبندگی مطلوب) دارای بیشترین مقاومت الکتریکی و بیشترین مقاومت به خوردگی و به تبع آن مطلوب ترین شرایط حفاظت کاتدی هستند.

MSRP group
WWW.MSRPCO.com
شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور میراب صنعت راستین پردیس
Email: Info@msrpco.com
تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۷۱-۳۶۳۱۲۱۰۳ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳