Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

«سیستمهای حفاظت در مقابل خوردگی سازه‌های بندری و دریائی وروشهای نوین کنترل و مونیتورینگ آن»

تقی شهرابی - امیدبدرخانی

گروه خوردگی ـ دانشکده فنی و مهندسی ـ دانشگاه تربیت مدرس

چکیده:

پس از قرنها استفاده از تأسیسات بندری و دریایی همچون اسکله‌ها و سکوهای دریائی و غیره، این موضوع شناخته شده است که محیط دریائی از تمام محیطهای طبیعی خورنده‌تر و پیچیده‌تر است. از عوامل مؤثر در خوردگی آب دریا می‌توان اکسیژن، pH، میزان نمک و درجه حرارت را نام برد. عمده‌ترین انواع خوردگی که بر سازه‌های دریایی و اسکله‌های بنادر رخ می‌دهند عبارت از خوردگی خستگی در مقاطع جوشکاری شده (Corrosion Fatigue) و خوردگی حُفره‌ای (Pitting Corrosion) می‌باشد.

بنابراین در طراحی تمام سازه‌های دریائی و اسکله‌ها باید به عامل خوردگی توجه خاص مبذول نموده و آنها را توسط سیستم‌های مناسب در مقابل خوردگی حفاظت نمود. قابل ذکر است که استفاده از روشهای حفاظتی هم به دلیل ایمنی و هم به دلیل اقتصادی برای سازه‌ها ضروری می‌باشد.

به طور کلی برای حفاظت از خوردگی این سازه‌ها از روشهای حفاظت کاتدی که از دو نوع سیستم اعمال جریان و سیستم آندهای فدا شونده تشکیل شده، استفاده می‌شود. علیرغم تمام ارزیابی‌هایی که در مراحل طراحی، آماده سازی و نصب سیستم‌های حفاظت کاتدی معمول می‌گردد همچنان این خطر وجود دارد که عمر سازه‌های دریائی کوتاهتر از عمر طراحی و پیش‌بینی شده با روش حفاظت کاتدی شود. معمولاً این حالت در مواردی پیش می‌آید که فرضیاتی که بر اساس آن طراحی انجام شده است، اشتباه در نظر گرفته شده و یا هنگامیکه سیستم حفاظت کاتدی نصب شده در خلال انجام کار آسیب ببیند. بدین دلیل باید سازه‌های تحت حفاظت کاتدی به طور پیوسته و یا ادواری تحت کنترل و مونیتورینگ دقیق قرار گیرند. تنها توسط این بازرسی‌های منظّم می‌توان از عملکرد سیستم‌های حفاظت کاتدی بطور دقیق اطلاع حاصل نمود.

در این مقاله سعی بر آنست که برای رفع آلودگیهای محیط دریا و همچنین جلوگیری از خسارات و ضایعات اقتصادی حاصل از خوردگی، مروری بر انواع خوردگی‌های به وجود آمده در محیطهای دریائی، روشهای اعمال حفاظت کاتدی بر سازه‌های بندری و دریائی و متدهای نوین کنترل و مونیتورینگ آنها ارائه شود.

www.SID.ir

Archive of SID

- مقدمه

خوردگی قادر است در اجزاء و تجهیزات یک سازه بندری و دریایی توسط مکانیزمهای مختلف از قبیل حفره‌دار شدن، خوردگی مناطق متأثر از جوش، خوردگی خستگی و یا مجموعه‌ای از آنها ایجاد شکست نماید. عدم طراحی صحیح و مناسب سازه‌های فوق نیز می‌تواند باعث تسریع این نوع شکست‌ها شود. بنابراین ضروری است تا برای رفع مسائل و مشکلات فوق از روش حفاظت کاتدی استفاده شود.

پس از پی بردن به اهمیت اعمال سیستمهای حفاظت کاتدی، نیاز به انجام طراحی مناسب و مفید می‌باشد در این طراحیها عوامل مختلف از جمله شرایط محیطی، مسائل مربوط به سازه، هزینه‌های اقتصادی و غیره باید ملحوظ گردد. قابل ذکر است که در صورت عدم توجه به این عوامل نمی‌توان از سیستم حفاظتی اعمال شده، انتظار عملکرد مناسب و مطلوب را داشت. در طراحی عموماً از دو سیستم حفاظت کاتدی استفاده می‌شود این دو سیستم عبارت از روش اعمال جریان و روش آندهای فدا شونده می‌باشد. هر یک از این روشها محاسن و مشکلات مربوط به خود را داشته که باید با در نظر گرفتن تمامی شرایط، سیستم مورد نظر انتخاب شده و پس از طراحی بر روی سازه نصب شود.

البته قابل ذکر است که پس از نصب سیستم حفاظتی نیز نمی‌توان از حفاظت کامل سازه حفاظت شده اطمینان حاصل نمود. علت آن نیز ایجاد مشکلات غیر قابل پیش‌بینی از قبیل تغییرات شدید جوّی و محیطی (الکترولیتی)، مسائل مربوط به قطع اعمال جریان، نصب نامناسب اتصالات و انجام جوشکاریهای غیراصولی و غیره می‌باشد که مجموعه این مسائل باعث عدم وجود اطمینان کامل از حفاظت کاتدی سازه می‌شود. به همین دلیل پس از نصب سیستم‌های حفاظت کاتدی، کنترل و مراقبت از آنها نیز ضروری است.

جهت کنترل و مونیتورینگ (Monitoring) سیستمهای حفاظت کاتدی طراحی شده نیز روشهای مختلفی وجود دارد که از روشهای فوق می‌توان به روشهای کنترل و مونیتورینگ از بالا، کنترل و مونیتورینگ از راه دور، کنترل توسط غواص و روشهای بدون کمک غواص نام برد که با توجه به نوع سازه، شرایط اتمسفری و دریایی و مسائل اقتصادی روش مطلوب و مناسب انتخاب شده و بر روی سازه تحت حفاظت اجرا می‌شود.

- عوامل موثر در طراحی سازه‌های بندری و دریایی از دیدگاه خوردگی

معمولاً سازه‌های بندری و دریایی از عرشه و تعدادی پایه تشکیل شده‌اند که از نظر تماس با الکترولیت به چهار منطقه طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: ۱- منطقه مربوط به قسمت فرو رفته در گل، ۲- منطقه مربوط به قسمت غوطه‌ور در آب دریا، ۳- منطقه مربوط به قسمتی که در اثر جزر و مد و پاشش آب دریا به طور متناوب در تماس با الکترولیت می‌باشد، ۴- منطقه‌ای که در تماس با الکترولیت نبوده و تنها در مجاورت اتمسفر می‌باشد. معمولاً پایه‌ها از تعدادی میله‌های افقی، عمودی و یا مورّب تشکیل شده که از طریق جوشکاری به یکدیگر متصل می‌شوند. مناطقی که در آن چند پایه به یکدیگر متصل شده را اصطلاحاً مفصل (node) می‌گویند. این مناطق در اثر جوشکاری و دارا بودن شکل هندسی پیچیده، دارای حداکثر تمرکز تنش می‌باشند. آنالیز نقاط فوق وجود حالتهای تنش در نقاط داغ (Hot Spots) را نیز در بالا، پائین و اطراف این مفاصل نشان می‌دهد (شکلهای ۱ و ۲). با توجه به مسائل مذکور، مفاصل و اتصالات جزء مستعدترین نقاط در برابر حملات خوردگی می‌باشند. بنابراین در طراحی باید سعی نمود تا میزان نقاط فوق را در سازه‌ها به حداقل رسانده تا از مشکلات بعدی جلوگیری بعمل آید. در بررسیها و محاسبات مربوط به تنش در سازه‌های بندری و دریایی

www.SID.ir

Archive of SID

حتماً باید علاوه بر استحکام خستگی، تنشهای مربوط به موج و برگشت موج نیز در نظر گرفته شود. در این مورد می‌توان از منحنی‌های مختلف جهت تعیین میزان تنشها استفاده کرد. در مجموع جهت محاسبه تنش در اثر موج از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\delta = kh^{1/7} \qquad (1)$$

δ: تنش طراحی در اثر موج h: ارتفاع موج k: ضریب ثابت

تنشهای ناشی از برگشت موج نیز حدود $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$ تنش رو به جلو موج می‌باشد. البته بهترین حالت آن است که تنش ناشی از برگشت موج را ۴۰ درصد میزان تنش رو به جلو فرض نمود. در ضمن در مورد فولادهای بکار رفته در سازه‌های مذکور نیز بهتر است که از فولادهای دارای پوشش مناسب استفاده شود. حسن استفاده از فولادهای دارای پوشش آن است که در نهایت جهت حفاظت سازه به جریان اعمالی کمتری نیاز بوده و در نتیجه وزن سازه تحت حفاظت نیز کاهش خواهد یافت. معمولاً میزان کاهش وزن در مقایسه با سازه فولادی بدون پوشش در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد خواهد بود.

- انواع خوردگی در آب دریا

به طور کلی از انواع خوردگی در آب دریا می‌توان خوردگی شکافی، حفره‌ای، گالوانیک، تصادمی، زدایش آلیاژی، مرزدانه‌ای و تنش (SCC)، خوردگی مناطق متأثر از جوش و خوردگی خستگی را نام برد.

در مورد سازه‌های فولادی، مکانیزمهای غالب عبارت از خوردگی حفره‌ای، خوردگی خستگی، خوردگی مناطق متأثر از جوش و خوردگی در اثر تمرکز تنش می‌باشد. گرچه اغلب مجموعه‌ای از این مکانیزمها در سازه باعث بوجود آمدن خوردگی می‌شوند، ولی عمده‌ترین شکستها در سازه‌های دریایی و بندری در اثر خوردگی خستگی و خوردگی حفره‌ای ایجاد می‌شود. البته قابل ذکر است که در خوردگی حفره‌ای و همچنین سایر مکانیزمها در نهایت نقاط ضعیف با تمرکز تنش بالا ایجاد می‌شود و بررسیها نشان می‌دهند که این نقاط عامل اصلی بروز شکستهای حاصل از خوردگی می‌باشند. (۲)

معمولاً در تمامی تجهیزات دریایی و بندری، خوردگی خستگی در زمانی کمتر از زمان خستگی در هوا رخ می‌دهد. البته قابل ذکر است که در فولادهای جوشکاری شده، اگر در اثر طراحی مناسب میزان تمرکز تنش در مفاصل کم باشد، شکست مفاصل جوشکاری شده در اثر خوردگی خستگی فقط در زمانهای بسیار طولانی رخ خواهد داد. بدین ترتیب اهمیت طراحی مناسب سازه مشخص می‌گردد. خوردگی حاصل از اثر تمرکز تنش نیز نوعی از خوردگی است که در آن سازه در اثر مکانیزمها و مسائل مختلف در نقاطی مستعد به خوردگی می‌شوند. این نقاط می‌توانند حفره‌ها، شیارها و یا معایب مربوط به پوششها باشند. این نقاط دارای سطح کم بوده ولی میزان تنش متمرکز در آنها بسیار بالا است و تمرکز تنش بالا در این نقاط، باعث ایجاد ترکهای ریز می‌شود. در این نوع خوردگی گرچه زمان ترکدار شدن طولانی بوده ولی پس از ترکدار شدن، ترکها به سرعت رشد کرده و در زمان بسیار کوتاه منجر به شکست می‌شوند. قابل ذکر است که مسائل مربوط به خوردگی باعث افزایش تنشهای لازم جهت شروع جوانه زنی ترکها شده و اثرات ناشی از خوردگی نیز باعث تسریع رشد ترک می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

- روشهای اعمال سیستمهای حفاظت کاتدی در محیطهای دریایی

همانطورکه شرح داده شد، جهت جلوگیری از توسعه تمرکز تنش و عیوب بزرگ در مقاطع جوشکاری شده مفاصل و جلوگیری از خوردگی خستگی، حفاظت کاتدی در مورد سازه‌های دریایی اهمیت پیدا می‌کند. بنابراین طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدی باید طوری اعمال شود که باعث پلاریزاسیون کامل در این نقاط شود. انجام پولاریزاسیون کامل در قسمتهای دیگر سازه‌های فوق اهمیت کمتری دارد زیرا محلهایی که جوشکاری نشده‌اند کمتر تحت تاثیر تمرکز تنش و بدنبال آن خوردگیهای موضعی می‌باشند. اهداف اصلی در طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدی به طور خلاصه بشرح زیر می‌باشد:

- اعمال جریان کافی جهت حفاظت سازه و توزیع جریان یکنواخت
- ایجاد حداقل اثرات مضر تداخل بر سازه‌های فلزی مجاور
- فراهم نمودن طول عمر مناسب برای سازه، که مطابق با طول عمر طراحی شده برای سازه تحت حفاظت باشد.
- در نظرگرفتن تسهیلات لازم و مناسب جهت انجام تعمیرات، تغییرات و تعویض احتمالی در سیستم
- اتخاذ روش مناسب نصب سیستم حفاظت کاتدی به طوری که امکان خوردگی را به حداقل ممکن برساند.

شایان ذکر است که در طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدی سازه‌های بندری و دریایی، باید به عوامل زیر توجه خاص مبذول گردد:

- انتخاب مواد، وسایل، تجهیزات و اتخاذ روشهای مناسب نصب که مطابق با اصول ایمنی و استانداردها بوده تا میزان قابلیت اطمینان و اعتماد از سیستم حفاظتی را افزایش دهد.
- انتخاب، طراحی و راه‌اندازی سیستم‌های حفاظت کاتدی با هزینه‌های اقتصادی بهینه و مناسب.
- بررسی مناسب و انجام محاسبات دقیق جهت جلوگیری از بوجود آمدن شرایط حفاظت اضافی (over protection) بر سازه
- انجام بازرسیهای عمومی جهت ارزیابی و در نظرگرفتن اثرات احتمالی سیستم حفاظت کاتدی بر روی تجهیزات و سازه‌های نزدیک آنها یا سازه‌هایی که در آینده نصب خواهند شد.

پس از مشخص شدن اهداف و مسائل مربوط به طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدی در مورد هر سازه به تعدادی اطلاعات مفید و مناسب نیاز می‌باشد. این اطلاعات عبارت از مشخصات مربوط به سازه، موقعیت و شرایط مربوط به الکترولیت و بازرسهای منطقه‌ای و انجام آزمایشات خوردگی می‌باشد.

اکنون با در نظرگرفتن تمام موارد مذکور، می‌توان مقدار دانسیته جریان و پتانسیل مورد نیاز، برای سازه تحت حفاظت را مطابق با استانداردها تعیین و کنترل نمود. از عوامل بسیار مهم در تعیین میزان دانسیته جریان لازم جهت حفاظت یک سازه می‌توان به سرعت آب دریا، غلظت اکسیژن، دما، میزان یونهای مهاجم موجود در آب دریا از جمله یونهای سولفات و کلر و غیره اشاره نمود در نهایت با توجه به سطح سازه میزان جریان کل لازم برای حفاظت محاسبه خواهد شد.

سیستمهای حفاظت کاتدی در سازه‌های بندری و دریایی به دو دسته تقسیم می‌شوند که آن عبارت از روش اعمال جریان و آندهای فدا شونده می‌باشد. در سیستم اعمال جریان از جریان الکتریسیته مستقیم به همراه آندهای دائمی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در حال حاضر درکشور ما و در محیطهای فوق بیشتر از

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم آندهای فداشونده استفاده می‌شود، بیشتر به بررسی سیستم آندهای فداشونده پرداخته می‌شود.

در سیستم آندهای فداشونده، از آندهایی از جنس فلزات فعال از قبیل منیزیم، روی و آلومینیم استفاده می‌شود. فاکتورهای مهم در آندهای فداشونده عبارت از جریان خروجی آند، سرعت خوردگی، شکل و ابعاد آند، وزن آند و جنس آند می‌باشد. در نهایت باید با توجه به فاکتورهای فوق، تعداد آندها براساس سطح کل سازه محاسبه شده و در مناطق مورد نیاز نصب شوند. توزیع آند از عوامل بسیار مهم در طراحی می‌باشد، که اگر به طور مناسب در نظر گرفته نشود، مشکلات فراوانی ایجاد خواهد شد و باید طوری طراحی شده باشد که جریان لازم برای حفاظت بطور یکنواخت به تمام نقاط سطح سازه برسد. جهت محاسبه طول عمر آند نیز می‌توان از فرمول زیر استفاده نمود (۴):

$$L = \frac{W.u}{E.I}$$

L: طول عمر موثر آند (سال)
W: جرم خالص آند (پوند یا کیلوگرم)
u: ضریب کارائی (۰/۹ تا ۱)
E: سرعت مصرف آند (lb/A.y یا kg/A.y)
I: جریان خروجی اصلی آند (آمپر ـ سال)

روشهای کنترل و مونتیورینگ سیستمهای حفاظت کاتدی

همانطور که قبلاً اشاره شد حفاظت کاتدی به عنوان یک تکنیک برای حفاظت سازه‌های بندری و دریایی ضروری می‌باشد براین اساس در این قسمت تأکید خواهد شد که پس از طراحی و نصب سیستم‌های حفاظت کاتدی، باید به کنترل و مراقبت از آنها پرداخته شود تا بتوان از عملکرد مطلوب و مناسب آن اطمینان حاصل نمود.

متاسفانه در حال حاضر درکشور ما، اکثر سیستمهای حفاظت کاتدی نصب شده براساس طول عمر طراحی شده کار نکرده و اغلب در زمانی کوتاهتر از زمان فوق دچار مشکل و نقص می‌شوند. همچنین در بعضی موارد در شروع کار با عدم کارکرد صحیح سیستم‌های حفاظت کاتدی طراحی شده مواجه شده‌اند. این مشکلات گرچه می‌توانند دلایل فراوانی داشته باشند، ولیکن با مونیتورینگ دقیق سیستم‌های نصب شده امکان اطلاع حاصل نمودن از تمام آنها وجود خواهد داشت و در نتیجه به موقع می‌توان این مشکلات را رفع کرده و از عدم کارایی سیستم جلوگیری نمود. از آنجاکه براساس توصیه استانداردها، وجود وسایل مونیتورینگ جزء لاینفک سیستم‌های حفاظت کاتدی می‌باشد لذا در حال حاضر اکثر مراکز و تاسیساتی که در آنها سیستم‌های حفاظت کاتدی نصب شده است مجهز به امکانات مونیتورینگ نیز می‌باشند.

از آنجاکه براساس اصول حفاظت کاتدی باید پتانسیل سازه طبق استانداردها در حد پتانسیلهای مشخص نگهداشته شود بنابراین باید پتانسیل سازه در زمانهای مختلف کنترل شود. علاوه بر آن در مورد آندهای فداشونده باید جریان خروجی آند نیز مورد کنترل و مونیتورینگ قرارگیرد تا از رسیدن جریان کافی به سازه مطمئن گردید. بنابراین روش کنترل و مراقبت از سیستم حفاظت کاتدی را می‌توان به دو قسمت بشرح زیر تفکیک نمود.

۱ـ اندازه‌گیری جریان خروجی آندهای فداشونده

www.SID.ir

Archive of SID

۲ـ انجام تست انتقال (Swing test) جهت کنترل پتانسیل سازه

جهت بدست آوردن اطلاعات درباره تغییرات جریان آند برحسب زمان و پیش‌بینی طول عمر آند از روش مونیتورینگ جریان آندهای فداشونده استفاده می‌شود. یک روش عبارت از محاسبه افت ولتاژ در یک مقاومت موازی با آند می‌باشد. روشهای دیگر، استفاده از دستگاههای سنجش ولتاژ صفر جهت از بین بردن خطاهای ناشی از افت ولتاژ مدار موازی می‌باشد (شکل ۳). جهت مونیتورینگ جریان خروجی آند باید سازه عایق کاری شود به طوریکه این عایقکاری اثری بر روی جریان خروجی آند ایجاد ننماید.

جهت تعیین پتانسیل سازه، باید یک سل (cell) الکتروشیمیایی برقرار نمود و پتانسیل سازه نسبت به یک الکترود مرجع یا نیم سل (half-cell) در الکترولیت آب دریا سنجیده شود. الکترودهای مرجع مناسب جهت استفاده در آب دریا، عبارت از Ag/AgCl و Zn می‌باشد که هر یک دارای محاسن و معایبی می‌باشند که جدول (۱) مقایسه این دو الکترود مرجع را نشان می‌دهد.

جهت مونیتورینگ و مراقبت سیستمهای حفاظت کاتدی سازه‌های دریایی و بندری، چندین تکنیک اصلی وجود دارد. روشهای مورد استفاده بستگی به کارفرما، نوع نیاز، برخی از شرایط فیزیکی سازه و شرایط محیطی دارد. تجهیزات مونیتورینگ می‌توانند بر روی وسایل متحرک تعبیه شده یا به طور دائمی و ثابت بر روی سازه نصب شوند. نتایج را می‌توان از قسمتهای مختلف سطح سازه بدست آورد. در زیر به بیان چند روش از تکنیکهای اصلی مونیتورینگ و کنترل پتانسیل سازه پرداخته می‌شود:

الف) سیستمهای سنجش از راه دور (Transporter Systems)

در سالیان اخیر، جهت انتقال اطلاعات از الکترودهای مرجع قرارگرفته بر روی سازه و خطوط لوله، از روش سنجش از راه دور استفاده می‌شود (شکل ۴) این عمل توسط امواج مافوق صوت صورت می‌گیرد. دستگاههای سنجش از راه دورکه با باطری کار می‌کنند به الکترودهای مرجع درون یک شبکه متصل شده و بر روی سازه نصب می‌شوند. در عمل یک سیگنال مافوق صوت کددار به صورت دیجیتالی از واحد بازرسی (در سطح آب دریا) به دستگاه سنجش از راه درو فرستاده می‌شود. سپس دستگاه سنجش از راه دور در حالت فرستنده و واحد بازرسی در حالت گیرنده قرار گرفته و اطلاعات از عمق آب توسط امواج مافوق صوت به واحد بازرسی فرستاده می‌شود. سپس این سیگنالها از حالت کد خارج شده و اطلاعات مربوط به پتانسیل خوانده شده سازه توسط الکترود مرجع بر روی یک مونیتور مشخص می‌شود. این روش در چند سال اخیر بر روی سازه‌ها نصب شده است و دارای محاسن و معایبی است. این روش در جائیکه امکان عواصی و یا استفاده از کابلها نمی‌باشد کاربرد پیدا می‌کند ولیکن از نظر اقتصادی به مراتب هزینه‌ای بیشتر از سایر روشها دارد (۵).

ب) سیستم مونیتورینگ و مراقبت از بالا (Top Side Monitoring)

تاریخچه استفاده از این روش به سالهای نخستین استفاده از روش مونیتورینگ مربوط می‌شود به طوریکه عمومی‌ترین شکل مونیتورینگ از این نوع که در خلیج مکزیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، بازدید و بازرسی از بالا و از نوع الکترود آویزان (Drep-cell) می‌باشد. (شکل ۵) در این روش از یک الکترود مرجع قابل حمل که معمولاً از نوع Ag/AgCl بوده و بر روی یک سیم طویل نصب شده، استفاده می‌شود. الکترود

www.SID.ir

Archive of SID

توسط این سیم، در سازه دریایی پایین آورده شده و پتانسیل بر روی یک ولتمتر دیجیتالی که در بالا قرار دارد، مشخص و ثبت می‌شود. این روش از لحاظ اقتصادی پرهزینه نبوده و اطلاعات حاصله نیز صددرصد قابل اعتماد نیست. بطورکلی با استفاده از این روش، اطلاعات خوبی از محدوده پتانسیل سازه بدست خواهد آمد. عدم موفقیت روش فوق در محیطهای عمیق و یا سازه‌هایی که پتانسیل موضعی متفاوت دارند، مشخص شده است. در محیطهای کم عمق (۶۰-۳۰ متر) که دارای شرایط دشوار کاری نمی‌باشنده می‌توان از این روش، با هزینه بسیار کم استفاده کرده و نتایج مطلوبی را نیز بدست آورد. (۶)

ج) بازرسیهای صورت گرفته توسط غواص (Diver Surveys)

اصلی‌ترین وسیله کاربردی جهت بازرسی توسط غواص (شکل ۶)، یک افشانک (Tip) متصل به یک میله (Probe) می‌باشد که الکترود مرجع درون آن قرار دارد (شکلهای ۷ و ۸). در این روش غواص به همراه الکترود مرجع به درون آب دریا رفته واز پایین‌ترین نقطه سازه شروع به بازرسی می‌کند. بازرسی بدین صورت است که غواص نوک افشانک را به سازه می‌چسباند. حسن چسباندن افشانک این است که دیگر جلبکها و جانوران دریایی که به سازه چسبیده‌اند نمی‌توانند بر روی اطلاعات حاصله تاثیر گذارند در حالیکه در روش الکترود آویزان این مشکل وجود دارد. پس از چسباندن افشانک، پتانسیل سازه، با توجه به نوع Probeکاربردی محاسبه می‌شود. اگر افشانک مجهز به یک ولتمتر دیجیتالی باشد غواص قادر است در زیر آب پتانسیل سازه را بخواند. در غیراینصورت اطلاعات باید توسط یک سیم به سطح آب فرستاده شده و در اتاق کنترل و بازرسی پتانسیل خوانده شود. سپس غواص شروع به بالا آمدن کرده و در فواصل معین این عمل را تکرار می‌کند. در نهایت یک منحنی براساس ارتفاع (عمق) سازه ـ پتانسیل رسم می‌شود که نقاط ضعیف در این منحنی مشخص می‌شود. این روش مونیتورینگ بسیار مطلوب است ولیکن در محلهایی که امکان غواصی وجود ندارد و یا در سازه‌های عمیق، نمی‌توان از این روش استفاده کرد.

عمق آب تاثیر فراوانی بر روی هزینه‌های بازرسی توسط غواص می‌گذارد. در آبهایی با عمق کمتر از ۱۵ متر، این بازرسی در خلیج مکزیک هزینه‌ای معادل $۴۰۰ خواهد داشت. هزینه بازرسی در عمقهای ۳۰ متری به $۲۶۰۰ و در آبهایی با عمق ۸۲ متر، هزینه برای هر سکو به $۵۰۰۰ می‌رسد. هزینه در آبهایی با عمق ۱۲۲ متر به $۷۰۰۰ و در آبهایی با عمق ۱۸۳ متر به بیش از $۶۰۰۰۰ می‌رسد (۵ و ۶).

د) تکنیکهای بازرسی بدون کمک غواص (Diverless Monitoring System (DMS))

روش DMS دارای مفهوم بسیار ساده‌ای است. بدین صورت که یک جفت کابل نگهدارنده موازی در عمق ۳ متری از خط گل و لای قرار می‌گیرد. این کابلها، الکترودهای مرجع را حمل کرده و به یک جرثقیل کابلی متصل هستند. از یک ترانسفورماتور نیز در سطح استفاده میشود. علت استفاده از دو کابل، جلوگیری از پیچ خوردن و تاب برداشتن الکترودهای مرجع در طول کابل و در مقابل جریانهای زیاد آب می‌باشد (شکل ۹). تجهیزاتی که به طور دائمی نصب می‌شوند عبارت ازکابلهایی با پوشش پلاستیک وکابلهای نگهدارنده بالایی و پایین DMS می‌باشد. تجهیزاتی از قبیل H-Frame، وزنه سربی، الکترودهای مرجع، کابلهای هادی الکتریکی، جرثقیل کابلی و پتانسیومتر، قابل حمل بوده و می‌توانند به سادگی از سکویی جهت استفاده به سکوی دیگر انتقال یابند. زمانیکه از این تجهیزات استفاده نمی‌شود می‌توان آنها را به زیر یک سقف حمل کرده و دور از شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

محیط دریایی، نگهداری کرد. روش کار نیز مانند روش غواصی است که در اینجا از جرثقیل و تجهیزات دیگر استفاده می‌شود. پس از نصب سیستم DMS، یک پروفیل پتانسیل دقیق بدست می‌آید، پس از تکمیل پروفیل پتانسیل DMS، غواص الکترود مرجع را برداشته و در نزدیکی و مجاورت پایه به سمت پایین حمل می‌کند. پس از رسیدن به انتهای اقیانوس، غواص الکترود را در برابر پایه جداره قرار داده تا پتانسیل در سطح خوانده شود. پس از اینکار شروع به بالا آمدن کرده و در فواصل ۱/۵ متر به ۱/۵ متری این عمل را مجدداً تکرار کرده تا اطلاعات لازم جمع‌آوری و خوانده شود. شکل (۱۰) مقایسه‌ای از پروفیلهای پتانسیل DMS و غواص را نشان می‌دهد. پروفیل پتانسیل حاصله از DMS، حدود ۳۰ الی ۵۰ میلی‌ولت منفی‌تر است و دلالت بر حفاظت بهتر سیستم فوق نسبت به سیستم غواص دارد چراکه DMS نسبت به الکترودهای مرجع حمل شده توسط غواص، به آندهای آلومینیم نزدیکتر است. در ضمن، افت پتانسیل در آب و اثرات حفاظتی سطح فولاد، برای الکترودهای DMS کمتر از الکترودهای حمل شده توسط غواص است، به همین دلیل، پروفیل پتانسیل حاصله از DMS منفی‌تر است (۷ و ۸).

ـ بحث و نتیجه گیری

جهت جلوگیری از شکستهای ناشی از خوردگی در سازه‌های دریایی و بندری، طراحی و نصب سیستمهای حفاظت کاتدی بر روی سازه‌های مذکور، ضروری است. پس از طراحی و نصب سیستم‌های حفاظت کاتدی، جهت اطمینان از عملکرد مطلوب و مناسب آنها باید از روشهای کنترل و مونیتورینگ مناسب استفاده کرد. متاسفانه در حال حاضر اکثر سیستمهای حفاظت کاتدی نصب شده در کشور فاقد سیستمهای مونیتورینگ می‌باشند، در حالیکه اهمیت نصب آن براساس تمام استانداردها ضروری بوده و در واقع تکمیل کننده سیستم حفاظت کاتدی می‌باشد. با توجه به روشهای ارائه شده در متن، جهت مونیتورینگ و کنترل سیستمهای حفاظت کاتدی، با توجه به شرایط محیطی، نوع سازه‌های دریایی و بندری، پیشنهاد می‌شود که از روشهای مونیتورینگ توسط غواص و یا مونیتورینگ از بالا استفاده گردد. امید است در طرحهای آینده و در سازه‌های دریایی وبندری آتی، بتوان با برنامه‌ریزی دقیق و به موقع (در زمان طراحی و ساخت سازه)، سیستمهای کنترل و مونیتورینگ جدید از جمله روش جدید DMS (کنترل و مونیتورینگ بدون کمک غواص)، جهت سازه‌های فوق طراحی و بر روی آنها نصب شود تا با صرف هزینه حداقل بتوان کنترل و مونیتورینگ مطلوب و بهینه را بر روی آنها اجرا نمود.

www.SID.ir

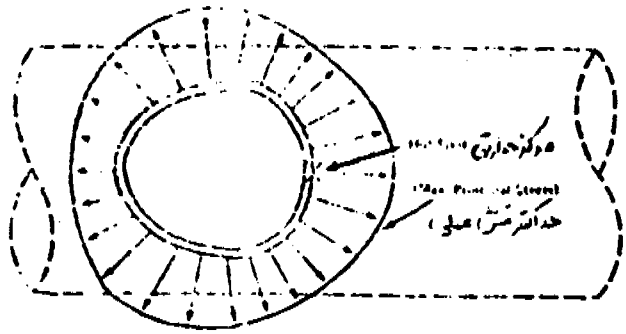
Archive of SID

مراجع:

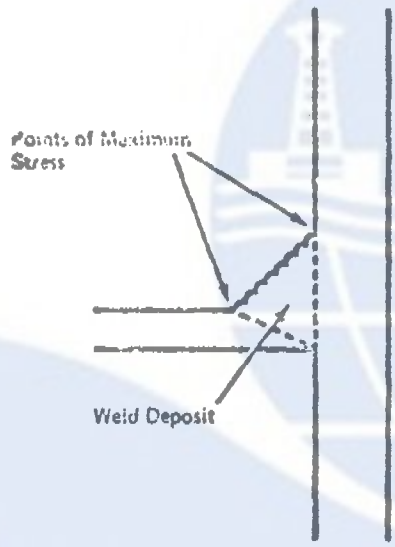
1. Pan, R.B. Plummer, F.B., "A Fracture Mechanics Approach to non-over lapping tubular. K-Joint fatigue life Predictions", OTC, Paper No. 2645, Dallas, Texas.
2. Corrosion Basics An Introduction, NACE, 1984.
3. NACE Standard RP-01-76 (1983 Rev.), "Corrosion Control of fixed offshore platforms Associated with Petroleum Production".
4. B.S. wyatt, "Cathodic Protection of fixed offshore structures".
5. G.H. Backhouse, "Equipment for offshore measurements", Alresford, Hants, UK.
6. Jim, N. Britton, "Monitoring Offshore Cathodic Protection Systems-Technologies and Regulatory Requirements", Houston, MP, 1991.
7. R.M. Vennett, D.L. Sanchez, "Diverless system for Monitoring the level of Cathodic Protection on Offshore Platforms", Corrosion, 1978.
8. Humble, R.A. Corrosion, Vol. 4, No. 7, P. 358.

www.SID.ir

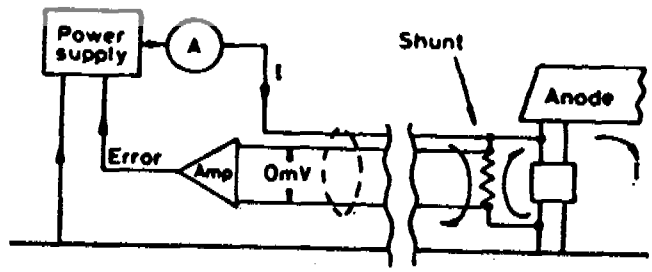
Archive of SID



شکل ۱ : توزیع تنش در مقاطع جوشکاری شده مفاصل در سازه‌های فولادی



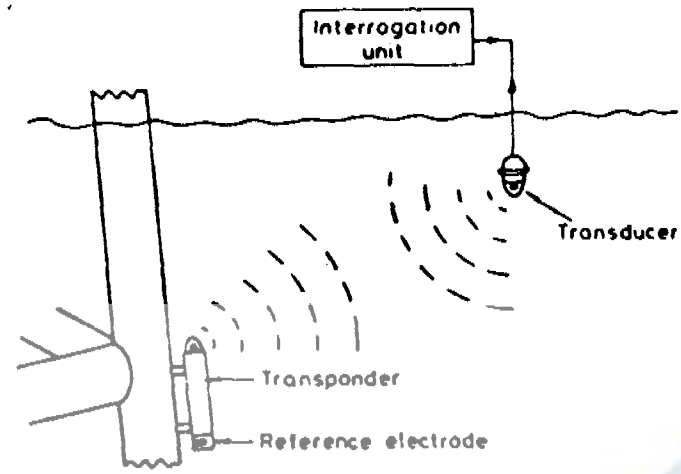
شکل ۲ : پروفیل تولید شده توسط جوشکاری در یک سازه دریایی و نمایش نقاط با حداکثر تمرکز تنش



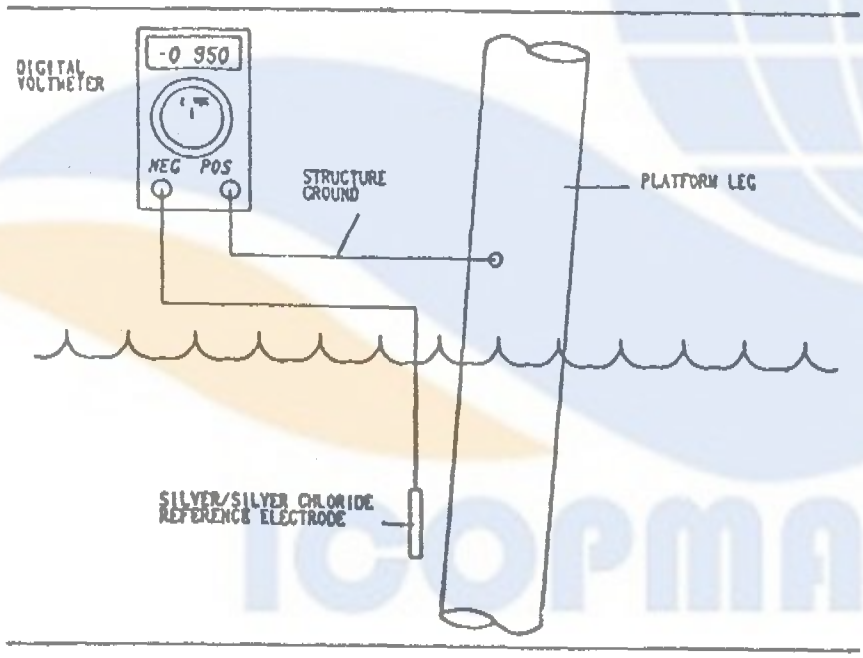
شکل ۳ : روش سنجش ولتاژ صفر در مونتیورینگ آندهای فداشونده

www.SID.ir

Archive of SID



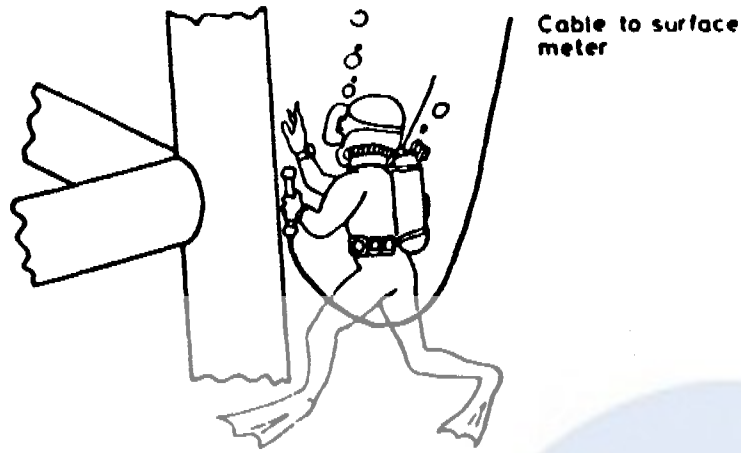
شکل ۴ : روش مونیتورینگ حفاظت کاتدی از طریق سنجش از راه دور



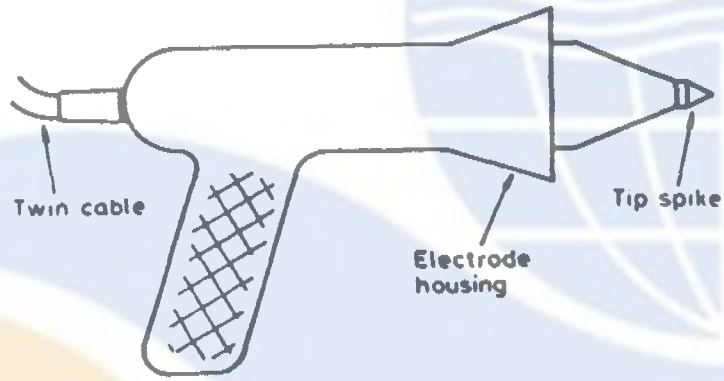
شکل ۵ : اندازه‌گیری عملی پتانسیل در روش استفاده از الکترود آویزان

www.SID.ir

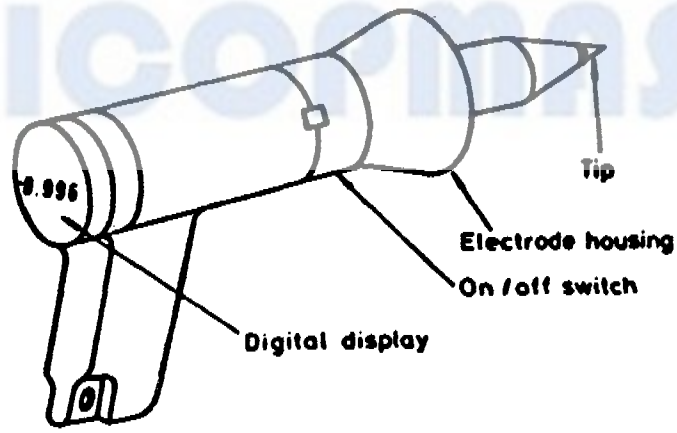
Archive of SID



شکل ۶: مونیتورینگ توسط غواص همراه با الکترود مرجع قابل حمل



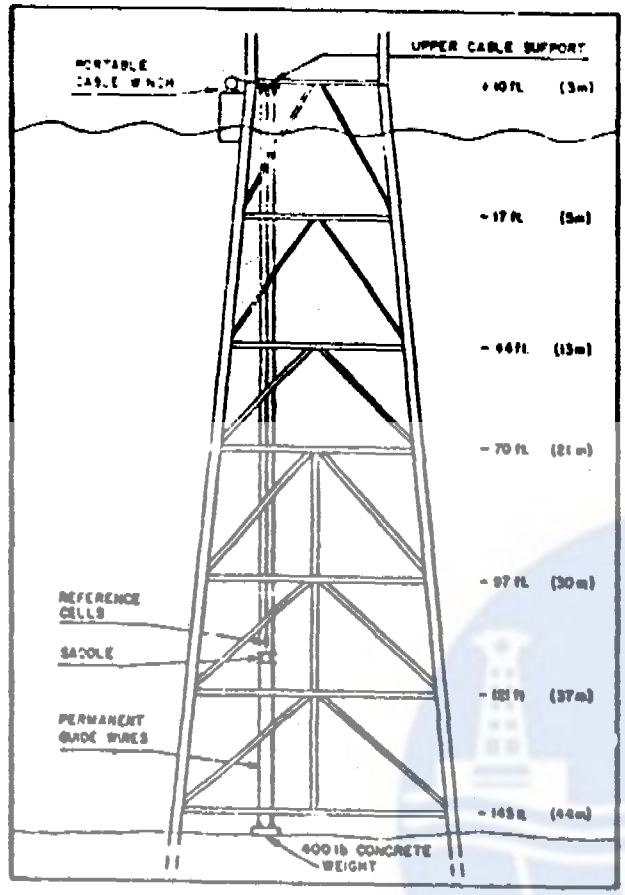
شکل ۷: وسیله اندازه‌گیری پتانسیل توسط غواص



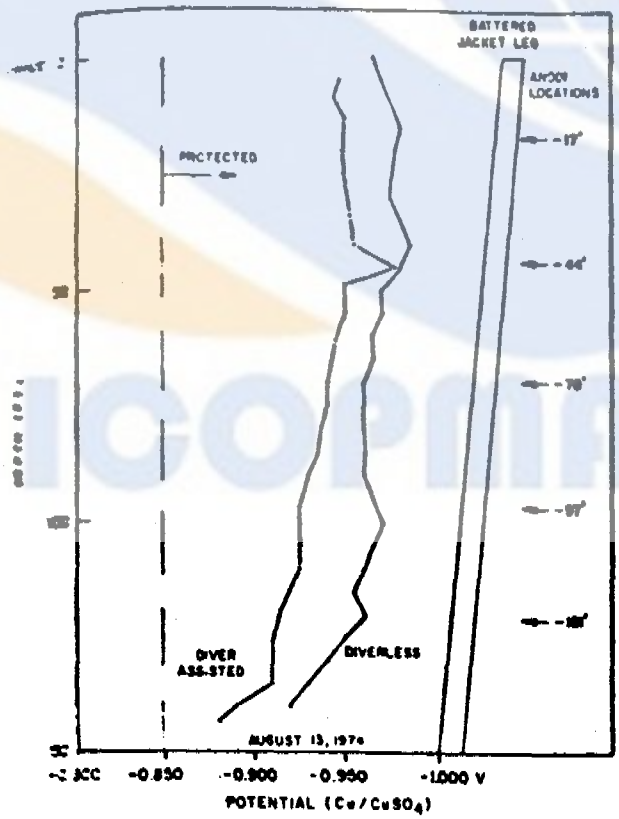
شکل ۸: وسیله اندازه‌گیری پتانسیل توسط غواص همراه با صفحه دیجیتالی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹ : روش مونیتورینگ بدون استفاده از غواص (DMS)



شکل ۱۰ : مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای پتانسیل در دو روش غواصی و DMS

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ : مقایسه الکترودهای مرجع روی و Ag/AgCl

Comparison	Zinc Seawater	Ag AgCl
Accuracy	±20 mV	±1 mV
Life (practical)	20 Years	10 Years
Cost [a]	$30 to 50	$200 to 300
Ruggedness	Good	Fair
Suitability for gradient measurements	Unsuitable	Excellent
Susceptibility to pollution	Tolerant	Little tolerance
Repeatability	Poor	Excellent

[a] Based on 10 year life (element cost only).

www.SID.ir

Archive of SID

Protective Systems against Erosion of Coastal and Maritime Structures and New Controlling and Monitoring Levels

T. Shahrabi.

O. Badrkhani.

Erosion Department, Engineering Faculty, Tarbiat Modarres University

Abstract

After years of establishing coastal and maritime structures, this is a known fact that the sea environment is the most erosive and complicated environment of nature. Some of the erosive elements named within seawater are oxygen, pH, salt and temperature. The deepest erosion happening to the maritime structures and berths are the fatigue corrosion in welded areas and the pitting corrosion. Thus, in designing every maritime structure and berths, the erosion factor should be under a critical attention and they must be protected using anti-erosion systems. Despite all the evaluations on the cathode system designing, preparation and implementation steps, there is still a risk that the useful life of maritime structures is lower than the designed and the expected life with cathode preserving systems. This usually occurs in cases where the hypothesis that the design were built upon is flawed or when designed cathode preserving system is damaged during the implementation process. This is the reason why the cathode preserved structures should be under frequent or permanent control or monitoring. Only through these regular inspections can the performance of cathode preserving systems be precisely understood. In this article, the effort is on cleaning the pollutions of sea environment and preventing the damages and financial wastes caused by erosion. Moreover, the known erosion types in sea environments, the methods of cathode protection on berths and maritime structures and new controlling and monitoring methods are proposed.

Keywords: maritime structures; protective methods; cathode protection

www.SID.ir