



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۱۲۲۴

چاپ اول

۱۳۹۵

INSO

21224

1st. Edition

2016

حفاظت کاتدی سازه‌های شناور فراساحلی فولادی

**Cathodic protection for steel offshore
floating structures**

ICS:77.060;75.180.10

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطاء و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4-Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« حفاظت کاتدی سازه‌های شناور فراساحلی فولادی »

رئیس:

حشمت دهکردی، ابراهیم
(دکتری مهندسی متالورژی)

دبیر:

حاتمی منفرد، علیرضا
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ایمانیان نجف آبادی، رضا
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

دانشور، عاطفه

(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

زارع پور، مجید

(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

سخنور، نجمه

(کارشناسی امور اداری)

عظیم زاده، نجمه

(کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

ماسوری، داریوش

(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

نجمی، محمد

(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

نوروزی، محسن

(کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی و بازرسی فنی)

سمت و/یا نمایندگی

سازمان انرژی اتمی ایران

شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران

شرکت سنجش کیفیت پارس

انجمن خوردگی ایران

شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران

انجمن خوردگی ایران

انجمن خوردگی ایران

شرکت نفت و گاز پارس

شرکت نفت و گاز پارس

شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران

شرکت نفت و گاز پارس

نیک روز، بهاءالدین
(کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)

ویراستار:

شرکت سنجش کیفیت پارس

ایمانیان نجف آبادی، رضا
(کارشناسی ارشد مهندسی خوردگی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۱-۱ سازه ها
۱	۲-۱ مواد
۲	۳-۱ محیط
۲	۴-۱ ایمنی و حفاظت از محیط زیست
۲	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ اصول طراحی
۳	۱-۴ اهداف
۴	۲-۴ معیارهای حفاظت کاتدی
۴	۳-۴ پارامترهای (مولفه های) طراحی
۵	۴-۴ جریان الکتریکی مورد نیاز
۷	۵-۴ سامانه های حفاظت کاتدی
۸	۶-۴ پیوستگی الکتریکی
۸	۷-۴ برهم کنش ها
۹	۵ طراحی سامانه جریان اعمالی
۹	۱-۵ اهداف
۹	۲-۵ ملاحظات طراحی
۱۰	۳-۵ ملاحظات تجهیزات
۱۲	۶ طراحی سامانه آند گالوانیک

۱۲	۱-۶ اهداف
۱۲	۲-۶ ملاحظات طراحی
۱۳	۳-۶ عوامل تعیین کننده جریان خروجی و عمر عملیاتی آند
۱۴	۴-۶ محل آندها
۱۴	۷ پایش سامانه حفاظت کاتدی
۱۵	۱-۷ اهداف
۱۵	۲-۷ اندازه گیری پتانسیل
۱۵	۳-۷ اندازه گیری خروجی جریان الکتریکی آندهای جریان اعمالی
۱۶	۴-۷ کنترل منبع تغذیه جریان اعمالی
۱۶	۵-۷ روش های پایش بیشتر
۱۶	۸ مستند سازی
۱۶	۱-۸ اهداف
۱۶	۲-۸ سامانه جریان اعمالی
۱۷	۳-۸ سامانه های آند گالوانیک
۱۸	پیوست الف) آگاهی دهنده) راهنمای الزامات جریان حفاظت کاتدی برای سازه های شناور دریایی
۲۰	پیوست ب) آگاهی دهنده) تعیین مقاومت و عمر آند
۲۲	پیوست ج) آگاهی دهنده) ویژگی های الکتروشیمیایی رایج آندهای جریان اعمالی
۲۳	پیوست د) آگاهی دهنده) آرایش رایج فضای خالی (cofferdam)

پیش گفتار

استاندارد «حفاظت کاتدی سازه‌های شناور فراساحلی فولادی» که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در هزار و سیصد و هشتاد و هشتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلز شناسی مورخ ۱۳۹۵/۱/۲۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

BS EN 13173:2001, Cathodic protection for steel offshore floating structures

مقدمه

به طور کلی حفاظت کاتدی به عنوان مکمل پوشش‌های حفاظتی یا رنگ برای حفاظت از سطوح خارجی سازه‌های شناور فراساحلی فولادی و متعلقات آنها در برابر خوردگی ناشی از آب دریا یا گل و لای شور^۱ کاربرد دارد.

حفاظت کاتدی با اعمال جریان مستقیم کافی به سطح زیر آب^۲ سازه به منظور تغییر پتانسیل فولاد نسبت به الکترولیت به مقادیری که در آنها خوردگی ناچیز است عمل می‌کند. اصول کلی حفاظت کاتدی در EN 12473 به تفصیل بیان شده است.

1- Saline Mud
2 -Immersed

حفاظت کاتدی سازه‌های شناور فراساحلی فولادی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روش‌های مورد استفاده برای حفاظت کاتدی سطوح فلزی غوطه ور سازه‌های شناور فراساحلی فولادی و متعلقات آنها در آب دریا و گل و لای شور می‌باشد.

۱-۱ سازه‌ها

این استاندارد برای حفاظت کاتدی سطوح خارجی سازه‌های شناور فراساحلی که در شرایط بهره‌برداری معمول به صورت ایستا قرار دارند کاربرد دارد. این سازه‌ها اساساً شامل: بارج‌ها^۱ (حمل‌کننده‌های دریایی)، جک‌آپ‌ها^۲ (دکل‌های حفاری)، سکوه‌های نیمه شناور^۳، مخازن ذخیره‌سازی، بویه‌ها^۴، و غیره هستند. این استاندارد همچنین برای مناطق غوطه‌ور و متعلقاتی مانند زنجیرها که به سازه متصل هستند، هنگامی که از نظر الکتریکی از سازه جدا نشده باشند، کاربرد دارد.

این استاندارد برای حفاظت کاتدی کشتی‌ها، سازه‌های دریایی ثابت، سازه‌های طویل (خطوط لوله، کابل‌ها) و یا تاسیسات بندرگاه که توسط استانداردهای دیگر تحت پوشش قرار دارند کاربرد ندارد. این استاندارد تنها به برای حفاظت کاتدی سطوح خارجی زیر آب دریا شامل مکنده‌های اطراف سازه^۵ و ورودی آب^۶ تا اولین شیر کاربرد دارد.

این استاندارد برای حفاظت داخلی سطوح اجزایی مانند مخازن سنگینی^۷ و بدنه داخلی سازه‌های شناور کاربرد ندارد.

۲-۱ مواد

این استاندارد عمده‌تاً برای حفاظت کاتدی سازه‌های ساخته شده از فولادهای حاوی کربن و منگنز پوشش داده شده یا بدون پوشش را کاربرد دارد.

از آنجا که ممکن است برخی از قطعات سازه از مواد فلزی غیر از فولاد حاوی کربن و منگنز ساخته شوند، توصیه می‌شود سامانه حفاظت کاتدی طوری طراحی شود تا اطمینان حاصل گردد که کنترل کاملی بر روی هر جفت گالوانیک وجود داشته و خطرات ناشی از تردی هیدروژنی یا ترک ناشی از هیدروژن به حداقل رسانده شود (EN 12473 را ملاحظه کنید).

این استاندارد برای سازه‌های بتنی کاربرد ندارد.

1- Barge
2 -Jack Up
3 -Semi-Submersible Platforms
4 -Buoyes
5 -Sea chest
6 -Water Intake
7 -Ballast Tank

۳-۱ محیط

این استاندارد برای نواحی کاملاً غوطه ور در آب دریا، آب شور^۱، گل و لای شور که به طور معمول در محلی که شناور لنگر انداخته، مهار شده یا در حال حرکت است، کاربرد دارد. این استاندارد در مورد متعلقاتی که ممکن است در تماس با گل و لای (به عنوان مثال زنجیر) باشند نیز کاربرد دارد.

برای سطوحی که به طور متناوب زیر آب می روند و در معرض جو قرار می گیرند، حفاظت کاتدی فقط هنگامی مؤثر است که زمان غوطه وری کافی برای پلاریزه شدن فولاد وجود داشته باشد.

۴-۱ ایمنی و حفاظت از محیط زیست

این استاندارد برای جنبه های ایمنی و حفاظت از محیط زیست مرتبط با حفاظت کاتدی کاربرد ندارد. مقررات ملی یا بین المللی مربوطه باید اعمال شود.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می شود.

در صورتیکه به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آنها مورد نظر است.

2-1 EN 12473, General principles of cathodic protection in sea water.

یادآوری: استاندارد ملی شماره ۱۸۷۴۹ سال ۱۳۹۳، اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا، با استفاده از استاندارد EN 12473:2006 تدوین شده است.

2-2 prEN 12496, Galvanic anodes for cathodic protection in sea water.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف EN 12473 و موارد زیر به کار می رود:

۱-۳

ناحیه اتمسفری

atmospheric zone

ناحیه ای که بالای ناحیه مرطوب^۲، یعنی بالاتر از سطح موج مرده^۳ طبیعی واقع شده است؛ خواه اینکه سازه در حال حرکت بوده یا نباشد.

1- Brackish Waters

2 -Wetted Zone

3 -Swell

۲-۳

قسمت بالای آب سازه

boot topping

بخشی از بدنه بین حالت سبک و شرایط بارگذاری کامل که ممکن است به صورت متناوب غوطه ور شود.

۳-۳

ناحیه حفاظت کاتدی

Cathodic Protection zone

بخشی از سازه که می تواند با توجه به طراحی حفاظت کاتدی به طور مستقل در نظر گرفته شود.

۴-۳

ناحیه زیر آب

immersed zone

ناحیه ای که در در شرایط کاری عادی زیر خط آب واقع شده است.

۵-۳

ناحیه غوطه ور

submerged zone

ناحیه شامل نواحی غوطه ور و مناطق مدفون در خاک باشد.

۶-۳

بدنه زیر آب

underwater hull

بخشی از بدنه که زیر خط آب سبک^۱ بوده و برای پایداری و شناوری یک سازه شناور حیاتی است.

۴ اصول طراحی

۱-۴ اهداف

مهمترین هدف سامانه حفاظت کاتدی تحویل جریان مناسب به منظور حفاظت هر بخش از سازه و متعلقات و توزیع این جریان به صورتی است که پتانسیل هر بخش سازه در محدوده حفاظت قرار گیرد. (بند ۲-۴ را ملاحظه کنید)

توصیه می شود پتانسیل تا حد امکان در کل سازه یکنواخت باشد. ممکن است این هدف تنها با توزیع کافی جریان حفاظتی بر روی سازه درحین شرایط کاری عادی آن محقق شود. با این حال ممکن است در برخی

1- Light Water Line

نواحی مانند زنجیرها، ورودی آب^۱، مکنده اطراف سازه‌ها در زمانی که سامانه‌های حفاظت کاتدی مکمل می‌بایست در نظر گرفته شود، دستیابی به توزیع یکنواخت جریان مشکل باشد. به طور کلی سامانه حفاظت کاتدی سازه‌های شناور با سامانه پوشش ترکیب می‌شود، اگرچه برخی از متعلقات مانند زنجیرها ممکن است از حفاظت ناشی از پوشش بهره‌مند نشوند. سپر عایق الکتریکی^۲ ممکن است همراه با آندها برای به حداقل رساندن خطر حفاظت بیش از حد موضعی^۳ استفاده شوند.

توصیه می‌شود سامانه‌های حفاظت کاتدی برای طول عمر سازه یا برای دوره‌های مربوط به تعمیر و نگهداری در حوضچه خشک^۴ طراحی شوند. توصیه می‌شود اهداف فوق با طراحی یک سامانه حفاظت کاتدی با استفاده از آند گالوانیک و یا سامانه‌های جریان اعمالی و یا ترکیبی از هر دو به دست آید.

۲-۴ معیارهای حفاظت کاتدی

معیار حفاظت کاتدی در EN 12473 به تفصیل بیان شده است. برای دستیابی به سطح حفاظت کاتدی کافی، سازه‌های فلزی باید از پتانسیل‌های زیر برخوردار باشند. معیار پذیرفته شده برای حفاظت از فولاد در آب دریای هوادهی شده، پتانسیل منفی تر از -0.8 ولت که نسبت به الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره/آب دریا (sea water/AgCl/Ag) اندازه گیری شده می‌باشد. به طور کلی حد منفی -1.0 ولت (الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره/آب دریا) توصیه می‌شود. در جایی که امکان جدایش پوشش و خستگی خوردگی وجود دارد، توصیه می‌شود حد منفی، مثبت تر باشد. بهتر است این حد منفی مستند شود.

۳-۴ مولفه‌های طراحی

توصیه می‌شود طراحی سامانه حفاظت کاتدی مطابق با این پارامترها انجام شود: بخش فرعی سازه، توصیف قطعات و شرایط کاری.

۱-۳-۴ بخش فرعی سازه^۵

سازه شناور را می‌توان به نواحی مختلف حفاظت کاتدی (نواحی CP)^۶ تقسیم نمود که پس از آن نسبت به طراحی حفاظت کاتدی به طور مستقل در نظر گرفته می‌شوند، اگر چه ممکن است آنها لزوماً از نظر الکتریکی جدا نباشد.

مثال ۱: برای یک مخزن ذخیره سازی، برخی اجزای خاص ممکن است شامل ناحیه حفاظت کاتدی بدنه زیر آب نشوند و در نتیجه خودشان یک ناحیه CP را تشکیل دهند (به عنوان مثال: مکنده اطراف سازه).

-
- 1- Water Intake
 - 2 -Dielectric Shields
 - 3 -Local Over Protection
 - 4 -Dry Dock
 - 5 -Structure Subdivision
 - 6 -Cathodic Protection Zones

مثال ۲: برای راهنمای شناور، به طور کلی ناحیه‌ای واحد شامل دو جزء در نظر گرفته می‌شود: بدنه رهنمای شناور و بخش تحت تاثیر زنجیر (زنجیرهای) پهلویی.

۴-۳-۲ شرح نواحی CP

هر ناحیه C.P. ممکن است شامل اجزای مختلفی شامل مواد، مساحت و مشخصه‌های پوشش (نوع، طول عمر و فاکتور تخریب پوشش^۱) باشد که توصیه می‌شود به طور کامل شرح داده شود.

۴-۳-۳ شرایط کاری

طراحی سامانه‌های حفاظت کاتدی به شرایط کاری شامل عمر مورد انتظار، محیط و شرایط بهره‌برداری بستگی دارد.

- طول عمر: توصیه می‌شود طول عمر کامل طراحی و یا بازه‌های انتقال به حوضچه خشک در نظر گرفته شود.

- محیط: توصیه می‌شود خواص آب دریا لحاظ شود (EN 12473 را ملاحظه کنید).

- شرایط بهره‌برداری: طراحی حفاظت کاتدی به طور معمول تنها در شرایط ایستای سازه در نظر گرفته می‌شود، زیرا به طور کلی مدت زمانی که شرایط حرکت^۲ غالب است قابل اغماض می‌باشد.

۴-۴ جریان الکتریکی مورد نیاز

۴-۴-۱ کلیات

به منظور دستیابی به معیار حفاظت برای شرایط مشخص شده در بند ۴-۳، ضرورت دارد جریان الکتریکی مورد نیاز برای هر بخش از سازه مورد بررسی قرار گیرد.

جریان الکتریکی مورد نیاز هر بخش فلزی از سازه نتیجه حاصل ضرب مساحت فولاد در چگالی جریان الکتریکی مورد نیاز است.

۴-۴-۲ چگالی جریان حفاظتی برای فولاد بدون پوشش

چگالی جریان مورد نیاز ممکن است با توجه به تغییرات شرایط محیطی و بهره‌برداری برای تمام اجزای سازه یکسان نباشد.

انتخاب چگالی‌های جریان طراحی ممکن است بر اساس تجربیات به دست آمده از سازه‌های مشابه در یک محیط مشابه و یا از آزمون‌ها و اندازه‌گیری‌های خاص باشد.

چگالی جریان به سینتیک واکنش‌های الکتروشیمیایی بستگی دارد و با پارامترهایی مانند پتانسیل حفاظتی، شرایط سطح، میزان اکسیژن محلول در آب دریا، سرعت آب دریا در سطح فولاد و دما تغییر می‌کند.

توصیه می‌شود موارد زیر برای هر طراحی ارزیابی شود:

- چگالی جریان اولیه مورد نیاز برای رسیدن سازه به پلاریزاسیون اولیه^۳؛

- چگالی جریان تعمیر و نگهداری^۴، مورد نیاز برای حفظ پلاریزاسیون سازه؛

1- Lifetime and Coating Breakdown Factor

2 -Dynamic

3 -Initial Polarisation

4 -Maintenance Current Density

- چگالی جریان نهایی برای پلاریزاسیون مجدد^۱ احتمالی سازه، به عنوان مثال پس از توفان شدید و یا عملیات تمیز کردن.

از آنجا که پلاریزاسیون اولیه^۲ مقدم بر شرایط پایدار^۳ معمولاً در مقایسه با عمر طراحی کوتاه است، چگالی جریان متوسط در طول عمر سازه معمولاً به چگالی جریان تعمیر و نگهداری بسیار نزدیک است. چگالی جریان (متوسط) تعمیر و نگهداری برای محاسبه حداقل جرم آند مورد نیاز برای ادامه حفاظت کاتدی در طول عمر طراحی مورد استفاده قرار می گیرد. مقادیر رایج چگالی های جریان که برای فولاد بدون پوشش استفاده شده است در پیوست الف آورده شده است.

۴-۳-۴ چگالی جریان حفاظتی برای فولاد پوشش داده شده

سامانه حفاظت کاتدی به طور کلی با سامانه های پوشش مناسب تلفیق می شود. پوشش موجب کاهش چگالی جریان و باعث بهبود توزیع جریان بر روی سطح می شود. کاهش چگالی جریان ممکن است به نسبت ۱۰۰ به ۱ و یا حتی بیشتر باشد. با این حال چگالی جریان با گذشت زمان و زوال پوشش افزایش خواهد یافت.

توصیه می شود فاکتور تخریب پوشش اولیه، که به طور عمده به آسیب مکانیکی مرتبط است و در طول ساخت سازه اتفاق می افتد، در نظر گرفته شود. بهتر است نرخ تخریب پوشش (یعنی افزایش فاکتور تخریب پوشش^۳) به منظور در نظر گرفتن پیرشدن پوشش و صدمات مکانیکی به پوشش در طول عمر سازه و یا دوره انتقال به حوضچه خشک، انتخاب شود.

این مقادیر به شدت به ساخت واقعی^۴ و شرایط بهره برداری وابسته هستند.

راهنمای مقادیر فاکتور تخریب پوشش (f_c) در پیوست الف ارائه شده است.

چگالی جریان حفاظتی مورد نیاز برای حفاظت از فولاد پوشش داده شده برابر است با حاصلضرب چگالی جریان فولاد بدون پوشش در فاکتور تخریب پوشش.

$$J_c = J_b \cdot f_c$$

که:

J_c چگالی جریان حفاظتی برای حفاظت از فولاد پوشش داده شده بر حسب آمپر بر متر مربع است،

J_b چگالی جریان حفاظتی برای حفاظت از فولاد بدون پوشش بر حسب آمپر در هر متر مربع است،

f_c فاکتور تخریب پوشش که با گذشت زمان به علت پیرشدن و آسیب های مکانیکی تغییر می کند:

$f_c = 0$ برای پوشش کاملاً عایق،

$f_c = 1$ برای پوشش بدون خاصیت عایقی (معادل با سازه فولادی بدون پوشش).

توصیه می شود این فرمول برای هر بخش یا ناحیه اختصاصی که در بند ۳-۴ تعریف شده، که ممکن است در آن پوشش و یا چگالی جریان برای فولاد بدون پوشش متفاوت باشد، اعمال شود.

1- Repolarisation

2 -Steady State

3 -Coating Breakdown Factor

4 -Actual Construction

۴-۴-۴ جریان حفاظتی مورد نیاز

توصیه می شود ارزیابی جریان مورد نیاز برای بهینه سازی جرم و اندازه آند گالوانیک و یا ظرفیت سامانه های جریان اعمالی انجام شود.

جریان حفاظتی مورد نیاز I_e هر بخش از سازه به صورت کاتدی حفاظت شود برابر است با:

$$I_e = A_e \cdot J_{ce}$$

که:

A_e مساحت اختصاصی هر قطعه بر حسب متر مربع است،

J_{ce} چگالی جریان اختصاصی برای قطعه مورد بررسی بر حسب آمپر بر متر مربع است.

در نتیجه جریان حفاظتی مورد نیاز I_e هر ناحیه CP معادل مجموع جریان مورد نیاز هر قطعه ای که در ناحیه CP قرار دارد است:

$$I_z = \sum_z(I_e)$$

که:

I_e جریان حفاظتی مورد نیاز هر بخش موجود در ناحیه CP بر حسب آمپر است.

یادآوری: توصیه می شود برای تعیین جریان مورد نیاز، سطح زیر آب همیشه شامل قسمت بالای سازه ی روی آب بوده، اما هرگز شامل ناحیه اتمسفری نشود.

هر زمان که ممکن است، باید برآوردی از جریان مورد نیاز زنجیر (یا کابل) که به صورت الکتریکی از سازه شناور جدا نیستند انجام شده و به I_z اضافه شود. لازم است از ایمن بودن طراحی های حفاظت کاتدی اطمینان حاصل شود، حتی اگر پتانسیل به دست آمده در زنجیرها (و حفاظت از آنها) به کیفیت واقعی پیوستگی الکتریکی بین زنجیرها و سازه شناور، و بین حلقه های هر زنجیره وابسته باشد.

۴-۵ سامانه های حفاظت کاتدی

دو نوع سامانه حفاظت کاتدی استفاده می شود:

- سامانه جریان اعمالی،

- سامانه آند گالوانیک.

گاهی ترکیبی از هر دو سامانه استفاده شده است (ترکیبی^۱).

انتخاب مناسب ترین سامانه به مجموعه ای از عوامل بستگی دارد (EN 12473 را ملاحظه کنید). به طور کلی برای سازه هایی که با توان الکتریکی متناسب می شوند و در آنها جریان مورد نیاز بالایی وجود دارد سامانه های جریان اعمالی ترجیح داده می شود.

برای هر سامانه حفاظت کاتدی، اندازه آندها باید با استفاده از قانون اهم تعیین شود.

$$I = \Delta U / R$$

که در آن:

ΔU پتانسیل محرک^۲ بر حسب ولت است،

R مقاومت مدار بر حسب اهم است.

1- Hybrid

2 -Driven Potential

مقاومت آندی تابع مقاومت ویژه محیط آندی و هندسه آند (شکل و اندازه) است. برای ارزیابی مقاومت آند ممکن است از فرمول تجربی مانند مواردی که در پیوست ب آرایه شده است استفاده شود. توصیه می‌شود اگر آندها در یک آرایه و نزدیک به یکدیگر گروه بندی شوند، تداخل متقابل بین آنها در هنگام محاسبه مقاومت آندی در نظر گرفته شود.

تا آنجا که امکان پذیر است، تعداد و محل آندها باید طوری تعیین شود که توزیع جریان الکتریکی که منجر به سطح پتانسیل حفاظتی مناسب و یکنواخت بر تمام سطوح سازه فولادی می‌شود، به دست آید. محاسبات می‌توانند با استفاده از مدل سازی عددی کامپیوتری بر اساس روش اجزای محدود یا روش اجزای مرزی انجام شوند.

توصیه می‌شود همه اجزای سامانه حفاظت کاتدی در مکان‌هایی که احتمال اختلال یا آسیب حداقل است نصب شوند.

۶-۴ پیوستگی الکتریکی^۱

توصیه می‌شود در جایی که حفاظت کاتدی متعلقات مورد نیاز است، اتصال الکتریکی به سازه توسط ابزار مناسب انجام شود، به جز زمانی که متعلقات توسط یک سامانه حفاظت کاتدی مستقل حفاظت می‌شوند. مقاومت الکتریکی اتصال باید به اندازه کافی کم باشد تا اطمینان حاصل شود که حفاظت کافی از تمامی اجزاء انجام می‌شود.

پیوستگی الکتریکی باید به طور ثابت حفظ شود.

به طور کلی برای راهنما و دیگر سازه‌های شناور، هیچ دستگاه پیوستگی خاص همراه با زنجیر لنگر مورد نیاز نیست، اما توصیه می‌شود پیوستگی بررسی شود.

۷-۴ برهم کنش‌ها^۲

سازه شناور ممکن است به صورت دائم و یا موقت به دیگر سازه‌های مجاور متصل شود. هر سازه باید به سامانه حفاظت کاتدی خود مجهز شود که توصیه می‌شود قبل از اتصال الکتریکی آنها به سازه‌های شناور مورد نظر، کنترل گردند.

توصیه می‌شود اگر سازه‌های خارجی که سامانه حفاظت کاتدی ندارند به طور موقت به سازه حفاظت شده متصل شده‌اند، پتانسیل حفاظتی به منظور تایید اینکه در سطح قابل قبولی در دوره اتصال قرار دارد، اندازه گیری شود.

توصیه می‌شود برای اطمینان از اینکه هیچ اثر زیان آوری از جریان‌های الکتریکی سرگردان^۳ در سازه حفاظت شده وجود ندارد، اندازه گیری‌هایی انجام گردد (prEN 50162 را ملاحظه کنید).

1- Electrical Continuity

2 -Interactions

3 -Electrical Stray Current

۵ طراحی سامانه جریان اعمالی

۱-۵ اهداف

یک سامانه جریان اعمالی، با اتصال سازه‌های فلزی به پایانه منفی یک منبع تغذیه جریان مستقیم قابل تنظیم و اتصال آند به پایانه مثبت، حفاظت را با استفاده از ارسال جریان مستقیم فراهم می‌کند. به منظور دستیابی و حفظ میزان پتانسیل حفاظتی کافی در کل سطح سازه فولادی، خروجی جریان الکتریکی ارسال شده توسط منبع تغذیه جریان مستقیم در طول عمر مورد انتظار سامانه حفاظت کاتدی کنترل می‌شود.

توصیه می‌شود محاسبات طراحی و مشخصات شامل اطلاعات دقیق به شرح زیر باشد:

- اصول طراحی،
- اندازه تجهیزات،
- آرایش کلی تجهیزات،
- مشخصات تجهیزات، به عنوان مثال منبع تغذیه جریان مستقیم، آندها، کابل‌های اتصال، دستگاه‌های حفاظتی، الکتروده‌های اندازه گیری
- مشخصات تاسیسات^۱
- مشخصات پایش^۲،

۲-۵ ملاحظات طراحی

سامانه‌های جریان اعمالی برای سازه‌های شناور شامل یک یا چند منبع تغذیه جریان مستقیم متغیر، چندین آند و معمولاً تعدادی الکتروده مرجع است.

منبع تغذیه جریان مستقیم با کنترل خودکار پتانسیل می‌تواند زمانی که شرایط محیطی و پیکربندی سازه و شرایط بهره‌برداری، تغییرات بزرگ و مکرری در جریان مورد نیاز برای حفظ پلاریزاسیون را ضروری می‌سازد، استفاده شود.

هر ناحیه CP (بند ۴-۳-۱ را ملاحظه کنید) باید توسط یک سامانه اختصاصی حفاظت شود. ممکن است در مناطق خاصی که از شرایط ویژه ای برخوردارند نیاز به لحاظ نمودن سامانه کنترل چند ناحیه ای^۳ به منظور انطباق و بهینه‌سازی توزیع جریان الکتریکی مورد نیاز حفاظت کاتدی باشد.

سپر عایق الکتریکی^۴ معمولاً در اطراف آند برای جلوگیری از پلاریزاسیون بیش از حد موضعی و بهبود توزیع جریان به کاتد استفاده می‌شود.

توصیه می‌شود حداکثر کل جریان الکتریکی مورد نیاز (I_Z) برای حفاظت یک ناحیه CP از سازه با استفاده از فرمول بند ۴-۴، و در شرایط سرویس حادثه که در بند ۴-۴-۲ شرح داده شده، با استفاده از بالاترین (ضریب) تخریب پوشش در نظر گرفته شده برای عمر طراحی، محاسبه شود (بند ۴-۴-۳ را ملاحظه کنید).

1- Installation
2 -Monitoring
3 -Multi-Zone Control System
4 -Dielectric Shield

برای جبران توزیع جریان با کارآمدی کمتر (تعداد کمی از آندها)، توصیه می‌شود سامانه‌های حفاظت کاتدی طوری طراحی شوند که قادر به فراهم نمودن ۱/۱ تا ۱/۵ برابر حداکثر کل جریان مورد نیاز محاسبه شده، بسته به هندسه و پوشش سازه باشند:

$$I_t = (1,1 \text{ to } 1,5) \cdot I_z$$

۳-۵ ملاحظات تجهیزات

۱-۳-۵ منبع تغذیه جریان مستقیم

منبع تغذیه جریان مستقیم باید قادر باشد حداکثر کل جریان I_t به ناحیه مد نظر برای حفاظت را ارائه نماید. بهتر است در ولتاژ خروجی، مقاومت مدار الکتریکی (کابل، آند، e.m.f برگشتی) و حداکثر ولتاژ عملیاتی توصیه شده برای آندها در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود منبع تغذیه جریان مستقیم قادر به تحویل نمودن جریان الکتریکی کافی برای حفظ پتانسیل کاتد در محدوده تعیین شده باشد.

باید منبع تغذیه جریان مستقیم با کنترل خودکار پتانسیل، زمانی که یکی از الکترودهای مرجع مورد استفاده در کنترل منبع تغذیه جریان مستقیم منجر به خواندن پتانسیل منفی کمتر از حد مثبت تنظیم شده می‌شود، جریان الکتریکی تحویل نماید (برای معیارهای حفاظت به ۲-۴ مراجعه کنید).

همچنین بهتر است این نوع از منبع تغذیه جریان مستقیم در زمانی که همه الکترودهای مرجع مورد استفاده برای کنترل منبع تغذیه جریان مستقیم منجر به خواندن پتانسیل منفی تر نسبت به حد منفی تنظیم شده می‌شود، قادر باشند هیچ جریانی منتقل نکنند.

توصیه می‌شود دستگاه‌هایی برای محدود کردن جریان خروجی هر آند نسبت به یک مقدار از پیش تعیین شده^۲ وجود داشته باشد.

بهتر است منبع تغذیه جریان مستقیم بدون مدارهای محدود کننده جریان خروجی در صورت اتصال کوتاه خارجی از یک سامانه خاموش نمودن موثر برخوردار باشد.

۲-۳-۵ آندها

آندهای مورد استفاده برای سامانه‌های جریان اعمالی عموماً از نوع خنثی هستند.

به طور کلی آندهای خنثی از تیتانیوم، نیوبیم و یا تانتالم با یک لایه نازک از پلاتین یا اکسیدهای فلزی مخلوط^۳ که اجازه می‌دهند جریان الکتریکی تخلیه شود، ساخته شده‌اند. برخی از ویژگی‌های الکتروشیمیایی رایج آندها در پیوست ج ارائه شده است.

توصیه می‌شود آندها برای طول عمر سازه مناسب بوده و یا قابل تعویض باشند.

آندهای نیمه خنثی نقره سرب نیز ممکن است به شرطی که چگالی جریان اولیه آند (20 A/m^2) تا 50 A/m^2 برای تولید و حفظ یک لایه PbO_2 رسانا کافی باشد مورد استفاده قرار گیرد. این لایه قهوه ای قابل مشاهده به شرطی که میزان اکسیژن در آب به اندازه کافی بالا باشد به سرعت تخریب نمی‌شود.

1- Back e.m.f

2 -Pre Set Value

3 -Titanium, Niobium or Tantalum With a Thin Layer of Platinum or Mixed Metal Oxides

به طور کلی آندهای جریان اعمالی جریان خروجی بالایی دارند و در مقایسه با سامانه های گالوانیک تعداد کمی از آنها استفاده می شود.

بنابراین، از دست دادن یک آند ممکن است به طور قابل توجهی عملکرد سامانه را کاهش دهد. توصیه می شود مونتاژ آند و اتصالات آن طوری طراحی شود که مقاومت بالایی در برابر آسیب های مکانیکی داشته باشد.

باید به منظور جلوگیری از هر گونه تماس با الکتریسیته مستقیم (اتصال کوتاه مدارهای حفاظت کاتدی) بین آندها و سازه تمامی احتیاط های لازم در نظر گرفته شود. به طور مشابه، تمام اقدامات احتیاطی باید برای جلوگیری از هر گونه نشت آب از طریق نفوذ به بدنه انجام شود. برای این کار معمولاً نیاز است فضاهای خالی^۱ قرار داده شود. (پیوست د را ملاحظه کنید).

تعداد، ابعاد و محل آند باید به صورتی تعیین شود که امکان ارسال جریان الکتریکی توزیع شده توسط منبع تغذیه جریان مستقیم به آند متصل به آن میسر شود. محاسبات اضافی برای ارزیابی نحوه توزیع آند ممکن است ضروری باشد.

۵-۳-۳ سپر عایق الکتریکی

مواد انتخاب شده باید برای سرویس در نظر گرفته شده مناسب باشند. آنها باید به جدایش کاتدی و مواد شیمیایی خورنده تولید شده در آند مقاوم باشند.

پوشش های اضافی که در سایت اعمال می شوند، پلاستیک تقویت شده با فیبر شیشه^۲، ورق های پلاستیکی یا الاستومری پیش ساخته^۳ می توانند بر روی سازه و در مجاورت آندها استفاده شود.

توصیه می شود طراحی سامانه حفاظت کاتدی زوال و پیری احتمالی مواد و دستگاه های محافظ^۴ را برای دستیابی به میزان عمر سامانه مورد نظر پیش بینی کند.

۵-۳-۴ الکترودهای مرجع

الکترودهای مرجع برای اندازه گیری پتانسیل فولاد به آب دریا و به طور کلی برای کنترل جریان الکتریکی ارسال شده توسط سامانه حفاظت کاتدی استفاده می شوند. آنها الکترودهای روی یا نقره/ کلرید نقره/ آب دریا^۵ هستند (استاندارد EN 12473 را ملاحظه کنید). الکترودهای روی (Zn) قوی تر هستند، در حالی که الکترودهای نقره/ کلرید نقره/ آب دریا دقیق ترند.

همه اقدامات احتیاطی باید به منظور جلوگیری از هر گونه تماس الکتریکی مستقیم بین الکترود و سازه در نظر گرفته شود. به طور مشابه، تمام اقدامات احتیاطی باید برای جلوگیری از هر گونه نشتی آب از طریق نفوذ بدنه انجام شود. برای این کار معمولاً نیاز است فضاهای خالی^۶ قرار داده شود. (ضمیمه د را ملاحظه کنید).

1- Cofferdam

2- Fibreglass Reinforced Plastic

3 -Prefabricated Plastic or Elastomeric Sheets

4 -Ageing of Shielding Materials and Devices

5 -Zinc or Silver/Silver Chloride/Sea Water Electrodes

6 -Cofferdam

محل الکترودهای مرجع بسیار مهم است، به خصوص هنگامی که برای کنترل سامانه مورد استفاده قرار می گیرند.

توصیه می شود الکتروود در مکان هایی نصب شود که پتانسیل سازه ممکن است از معیارهای حفاظت خارج شود.

۵-۳-۵ کابل ها، ترمینال ها^۱

همه کابل های اتصال باید به سامانه های حفاظتی کافی مجهز شوند تا از هر گونه آسیب مکانیکی که می تواند در شرایط عادی بهره برداری رخ دهد جلوگیری گردد.

اتصال الکتریکی بین کابل آند سرب و بدنه آند باید ضد آب و از نظر مکانیکی ایمن باشد.

کابل و مواد عایق اتصال باید به شرایط محیطی خود (کلر، هیدروکربن و دیگر مواد شیمیایی) مقاوم باشند. هنگام تعیین سطح مقطع کابل، لازم است افت ولتاژ برای طولی از کابل که مورد بررسی قرار دارد در نظر گرفته شود.

حداکثر آهنگ جریان مشخص شده برای یک اندازه معین کابل هرگز نباید افزایش یابد.

برای اندازه گیری های پتانسیل توصیه می شود کابل های اختصاصی استفاده شود، و بهتر است این کابل ها به منظور جلوگیری از هر گونه تداخل جدا شوند.

۶ طراحی سامانه آند گالوانیک

۱-۶ اهداف

آند گالوانیک از آلیاژهای الکترون گاتیو^۲ ساخته می شوند که برای تولید جریان خورده شده و به طور مستقیم به سازه های فلزی متصل می شوند.

توصیه می شود ابعاد، تعداد و محل آند به صورتی تعیین شود که پتانسیل حفاظت در تمام سطح سازه برای طول عمر مورد انتظار از سامانه حفاظت کاتدی و در شرایط بهره برداری مختلف به دست آید.

۲-۶ ملاحظات طراحی

سه مورد چگالی جریان الکتریکی طراحی که در بند ۴-۴ تعریف شده است باید در نظر گرفته شود:

- چگالی جریان الکتریکی تعمیر و نگهداری باید برای تعیین جرم آند استفاده شود. این چگالی جریان برای حفظ سطح پلاریزاسیون کافی سازه در طول عمر طراحی آن مورد نیاز است؛

- چگالی جریان الکتریکی اولیه باید به منظور بررسی اینکه آیا ظرفیت جریان خروجی از آندهای جدید، یعنی ابعاد اولیه آنها، برای دستیابی به پلاریزاسیون اولیه کامل سازه کافی است، استفاده شود.

- چگالی جریان الکتریکی پلاریزاسیون مجدد^۳ باید به منظور بررسی ظرفیت جریان خروجی از آندها در زمانی که آنها بر اساس فاکتور استفاده^۴ خود مصرف می شوند، یعنی آیا ابعاد قابل استفاده نهایی آنها برای

1- Termination
2-Electronegative Alloys
3-Repolarisation
4-Utilisation Factor

پلاریزاسیون مجدد سازه پس از طوفان شدید یا عملیات تمیز کردن رشدکننده‌های دریایی^۱ کافی است، استفاده شود.

آندهای گالوانیک معمولاً از آلیاژهای پایه آلومینیوم و یا روی ساخته می شوند. آلیاژهای پایه منیزیم ممکن است برای حفاظت موقت یا کوتاه مدت استفاده شوند. انواع زیادی از شکل ها و اندازه ها را می توان برای ارائه جریان الکتریکی حفاظتی به منظور بهینه سازی توزیع جریان الکتریکی مورد استفاده قرار داد. روش اتصال آندها به سازه به نوع و کاربرد آنها بستگی دارد، اما تماس الکتریکی مقاومت پایین باید در طول عمر عملیاتی آندها حفظ شود.

توصیه می شود آندهای گالوانیک ترجیحاً با جوشکاری مداوم هسته فولادی خود به سازه به صورتی که تنش ها در محل جوش به حداقل برسد، متصل شوند. هسته فولادی آندهای گالوانیک ممکن است به پایه های جداگانه که به سازه با جوشکاری مداوم متصل شده اند پیچ شود. به ازای هر پایه حداقل دو پیچ و مهره باید استفاده شود.

اتصال پرچ هایی به سازه با حرارت و ضربه^۲ مجاز نمی باشد. هنگامی که مقاومت هیدرودینامیکی پایین در نظر گرفته شود، توصیه می شود شکل ها و روش های اتصال آند بهینه سازی شود.

عملکرد آندهای گالوانیک در آب دریا اساساً به ترکیب آلیاژ بستگی دارد. توصیه می شود خواص الکتروشیمیایی مواد آندی توسط آزمون های مناسب مستند یا تعیین شود. اطلاعات مورد نیاز شامل موارد زیر است:

- پتانسیل محرک به فولاد پلاریزه شده، یعنی اختلاف بین پتانسیل آند مدار بسته و حد مثبت معیار پتانسیل حفاظتی،
- ظرفیت عملی جریان الکتریکی ($A \cdot h / kg$) و نرخ مصرف ($kg/A \cdot a$),
- حساسیت به رویین شدن^۳,
- حساسیت به خوردگی بین دانه ای.

۳-۶ عوامل تعیین کننده جریان خروجی و عمر عملیاتی آند

الزامات اساسی مواد آندی در استاندارد EN 12496 مطرح شده است. توصیه می شود اثرات زیست محیطی عناصر فلزی آلیاژی که در الکترولیت منتشر می شوند در نظر گرفته شود.

جریان خروجی آند به مقاومت ویژه^۴ محیط، شکل و ابعاد آند بستگی دارد (به بندهای ۴-۳، ۴-۵ و پیوست ب نگاه کنید).

مواد آندی در هنگام کار در محیط های مختلف نرخ های مصرف خاص و متفاوتی از خود نشان می دهند.

1 -Marine Growth

2 -Studs 'Fired' into The Structure

3 -Passivation

4 -Resistivity

بنابراین، برای یک خروجی جریان الکتریکی مشخص، مدت زمان عمر آند به مواد آندی (میزان مصرف) و جرم آن بستگی دارد.

توصیه می‌شود ابعاد و تعداد آندها به منظور به حداقل رساندن جرم کل آندهای گالوانیک، و به منظور فراهم نمودن جریان الکتریکی حفاظتی بیشتر یا مساوی با جریان الکتریکی حفاظتی مورد نیاز برای حفاظت دائمی سازه در طول عمر آندها بهینه‌سازی شوند.

سامانه‌های حفاظت کاتدی باید دارای جرم کافی از مواد آندی به منظور تامین جریان الکتریکی مورد نیاز برای تعمیر و نگهداری (متوسط) در طول زمان عمر طراحی سامانه باشد.

همانطور که در بند ۴-۵ و پیوست ب توضیح داده شده است، جریان خروجی توسط قانون اهم به دست می‌آید.

پتانسیل محرک خالص رایج بین آند ساخته شده از آلیاژهای پایه آلومینیوم یا پایه روی و یک سازه پلاریزه شده یا پوشش داده شده در سطح حداقل حفاظت کاتدی آن (-0.8) ولت در مقابل نقره/کلرید نقره/آب دریا (Ag/AgCl /sea water) که معمولاً استفاده می‌شود تنها 0.15 تا 0.30 ولت است.

محاسبات را می‌توان با استفاده از مدل سازی عددی کامپیوتری بر اساس روش اجزای محدود یا روش اجزای مرزی انجام داد.

مدت زمان عمر آند ممکن است با استفاده از فرمول ارایه شده در پیوست ب تعیین شود.

۴-۶ محل آندها

بهتر است آندهای گالوانیک به صورتی توزیع شوند تا اطمینان حاصل شود که سطح فولاد در محدوده توصیه شده پلاریزه شده است (بند ۴-۲ را ملاحظه کنید). شبیه سازی کامپیوتری بر اساس روش اجزای محدود و یا روش محاسبات اجزای مرزی و/یا آزمون مدل ممکن است انجام شود.

آندهای گالوانیک نباید در مناطقی که ممکن است با عملکرد طبیعی سازه تداخل داشته باشند قرار گیرند. توصیه می‌شود آنها در مناطق تنش بالا و یا مناطق در معرض بارهای خستگی بالا مانند محل های اتصال و درزها^۱ نصب نشوند.

توصیه می‌شود آنها در مناطقی که می‌تواند آسیب وارد کند (سقوط اتفاقی اشیاء و یا پهلویی قایق) قرار داده نشوند.

آندهای گالوانیک بهتر است ترجیحاً به دور از مناطق تقویتی موضعی^۲ قرار گیرند.

۷ پایش سامانه حفاظت کاتدی

توصیه می‌شود سامانه های حفاظت کاتدی به طور منظم پایش شوند.

سامانه‌های پایش ثابت برای سامانه های آند گالوانیک ضروری نیست. با این حال، سامانه های پایش ثابت برای سامانه های جریان اعمالی ضروری هستند.

1- Butts or Seams
2- Local Stiffenings

۱-۷ اهداف

سامانه پایش یک سامانه حفاظت کاتدی باید قادر به پیگیری و احتمالاً کنترل پارامترهای عملیاتی و کارآیی سامانه حفاظت کاتدی باشد.

تجهیزات قابل حمل مورد استفاده برای بازرسی های دوره‌ای در سامانه پایش گنجانده نشده است. این تجهیزات ممکن است به منظور بررسی دقت و صحت الکتروود مرجع دائمی و برای اندازه گیری پتانسیل در مناطق بحرانی که توسط الکتروودهای دائمی پوشش داده نشده است استفاده شوند. توصیه می شود پتانسیل فولاد به آب به صورت دوره ای در تمام طول عمر سازه به منظور بررسی مناسب بودن سامانه حفاظت کاتدی اندازه گیری شود.

۲-۷ اندازه گیری پتانسیل

۱-۲-۷ روش اندازه گیری پتانسیل

پتانسیل فولاد با استفاده از یک ولت متر امپدانس بالا که به یک الکتروود مرجع متصل شده تا آنجا که ممکن است باید نزدیک به سطح فولاد مورد بررسی، اندازه گیری شود. توصیه می شود اگر این مدار اندازه گیری به طور دائم متصل باشد، مراقب بود که این مدار جریانی به الکتروود مرجع منتقل نکند، زیرا ممکن است الکتروود مرجع پلاریزه شده و داده غلط ارایه نماید.

۲-۲-۷ محل الکتروود مرجع

توصیه می شود برخی از الکتروودهای مرجع در مکان هایی که به عنوان نماینده پتانسیل متوسط هر ناحیه CP هستند نصب شوند. بهتر است الکتروودهای مرجع اضافی در مناطقی که احتمال خارج شدن پتانسیل سازه از محدوده تعیین شده بیشتر است نصب شوند. در مورد سامانه های جریان اعمالی، توصیه می شود الکتروودهای مرجع در مکان های مناسبی از سازه جهت کنترل خروجی آندها و اطمینان از پلاریزه شدن مناطق بحرانی در محدوده تعیین شده، نصب شوند.

۳-۲-۷ اعتبارسنجی الکتروودهای مرجع

الکتروود مرجع باید بررسی شود، یعنی در فواصل منظم با اندازه گیری پتانسیل آنها در مقابل یک الکتروود کالومل مرجع اشباع یا در مقابل هر الکتروود مرجع دیگری که به تازگی کالیبره شده است، کالیبره شود. برای تاسیساتی که الکتروود مرجع را از محل قرارگیری دائمی خود نمی توان برچید، باید از یک الکتروود مرجع قابل حمل برای کالیبراسیون استفاده شود. توصیه می شود این الکتروود مرجع قابل حمل در مجاورت الکتروود مرجع دائم قرار داده شود.

۳-۷ اندازه گیری خروجی جریان الکتریکی آندهای جریان اعمالی

توصیه می شود جریان الکتریکی منتقل شده به هر آند در پایانه خروجی منبع تغذیه DC و یا جعبه توزیع^۱، هر یک که قابل اجرا است، اندازه گیری شود.

۴-۷ کنترل منبع تغذیه جریان اعمالی

منبع تغذیه جریان مستقیم جریان حفاظتی را به آندها تحویل می نماید و بهتر است با تجهیزات کنترلی زیر مجهز شود:

- یک ولت متر برای اندازه گیری ولتاژ خروجی جریان مستقیم ،
 - یک آمپر متر برای اندازه گیری شدت خروجی جریان مستقیم ، که احتمالاً به یک سوئیچ متصل شده که امکان اندازه گیری خروجی جریان الکتریکی هر آند را فراهم می نماید،
 - دستگاه های حفاظتی در برابر ولتاژ بیش از حد و اتصال کوتاه.
- یک زمان سنج ممکن است برای ثبت نمودن دوره های عملیاتی منبع تغذیه جریان مستقیم نصب شود.

۵-۷ روش های پایش تکمیلی

روش های پایش تکمیلی ممکن است شامل اندازه گیری چگالی جریان در سازه با استفاده از تجهیزات ثابت و یا قابل حمل، و نصب آندهای گالوانیک تحت پایش باشد.

۸ مستند سازی

۱-۸ اهداف

توصیه می شود تمام اطلاعات، داده ها و نتایج مربوط به سامانه حفاظت کاتدی ثبت شود. این موارد شامل تمام داده های مربوط به طراحی، ساخت، نصب، راه اندازی، بهره برداری و تعمیر و نگهداری و توصیه ها و اثربخشی سامانه حفاظت کاتدی است. توصیه می شود اسناد و مدارک پس از ساخت^۱، هر گونه تغییرات از مشخصات طراحی را منعکس کنند. این موارد اساساً شامل محل تجهیزات، انحراف در خط آب^۲ که ممکن است مناطق حفاظت شده را تغییر دهد می باشد.

اطلاعات راه اندازی بهتر است شامل نتایج پیمایش های انجام شده پس از انرژی دهی به هر یک از سامانه های حفاظت کاتدی به منظور ارزیابی اینکه معیارهای طراحی برآورده می شود و به طور موثر عمل می کند شامل اندازه گیری پتانسیل سازه تا نشان دهد که حفاظت به دست آمده است، باشد.

۲-۸ سامانه جریان اعمالی

توصیه می شود داده های زیر برای ارجاع نگهداری و به صورت دائم بروز رسانی شوند، اگر قابل استفاده هستند:

- معیارهای طراحی شامل عمر طراحی، ویژگی های محیط (به عنوان مثال محدوده شوری آب، مقاومت ویژه)، معیارهای حفاظتی در نظر گرفته شده، الزامات چگالی جریان، مقادیر مفروض جریان خروجی آند؛
- تعداد آندها، اندازه آنها، مشخصات، شرح تجهیزات و اتصالات آندی، چگالی جریان خروجی موثر و ولتاژ مجاز، و همچنین داده های تولید کننده/تامین کننده و مستندسازی.

1- as Built
2- Water Line

- توضیحات و روش اتصال آندها، ترکیب و موقعیت هر محافظ عایق الکتریسیته (زمانی که قابل استفاده باشد)، و همچنین مشخصات، ویژگی ها و روش اتصال آرایش کابل های اتصال از طریق دیواره یا از طریق بدنه.

- محل هر آند آنگونه که حین ساخت کنترل شده است، تمام اختلافها با محل طراحی برجسته شود (این مکانها می توانند به راحتی بر روی یک نقشه خاص سازه ثبت شوند)، توصیه می شود این داده ها در طول عمر سازه بروز رسانی شوند؛

- محل، مشخصات دقیق، نقشه ها، و ویژگی های خروجی هر منبع تغذیه جریان مستقیم به همراه گزارش آزمون کارخانه؛

- موقعیت سنجی، توضیحات و خصوصیات هر گونه حفاظت، کنترل پتانسیل و یا دستگاه پایش، از جمله الکتروود مرجع، تجهیزات اندازه گیری و کابل های اتصال.

- نتایج راه اندازی از جمله داده های پتانسیل سنجی، مقادیر جریان و ولتاژ خروجی هر منبع تغذیه جریان مستقیم و هر تنظیماتی که برای دستگاه های غیر خودکار انجام شده است.

- نتایج داده های ثبت شده در طول بازرسی تعمیر و نگهداری دوره ای شامل مقادیر پتانسیل حفاظتی، مقادیر خروجی جریان مستقیم، داده های تعمیر و نگهداری در منابع تغذیه جریان مستقیم و دوره های خرابی به منظور پیگیری تغییرات وضعیت سطح پتانسیل حفاظتی سازه.

۳-۸ سامانه های آند گالوانیک

توصیه می شود داده های زیر برای ارجاع نگهداری و به طور دائم بروز رسانی شوند، زمانی که قابل استفاده هستند:

- معیارهای طراحی از جمله عمر طراحی، ویژگی های محیط (به عنوان مثال مقاومت ویژه آب)، معیارهای حفاظتی در نظر گرفته شده، الزامات چگالی جریان، مقادیر مفروض جریان خروجی آندها در دوره ها و شرایط کاری مختلف، و بازدهی نظری (تئوری) آندها و پتانسیل پیش ران ؛

- تعداد آندها، اندازه آنها، جرم، مشخصات، ترکیب آلیاژی، نرخ مصرف موثر آنگونه که در آزمایش انجام شده مطابق با prEN 12496 اندازه گیری شده است، و ویژگی ها، و همچنین داده های تولید کننده/ تامین کننده و مستندسازی.

- محل هر آند آنگونه که حین ساخت کنترل شده است، تمام اختلافات با محل طراحی برجسته شود (این مکانها می توانند به راحتی بر روی یک نقشه خاص سازه ثبت شوند)، روش اتصال، تاریخ نصب. توصیه می - شود این داده ها در طول عمر سازه بروز رسانی شوند؛

- محل، توضیحات و مشخصات هر دستگاه کنترل پتانسیل یا جریان یا پایش، از جمله نوع الکتروود مرجع، تجهیزات اندازه گیری، و کابل های اتصال.

- نتایج راه اندازی از جمله داده های پتانسیل سنجی؛

- نتایج داده های بازرسی تعمیر و نگهداری دوره ای از جمله اندازه گیری های جریان و پتانسیل حفاظتی، تجهیزات و روشهای اندازه گیری به منظور پیگیری تغییرات وضعیت پتانسیل حفاظتی سازه.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

راهنمای الزامات جریان حفاظت کاتدی برای سازه های شناور دریایی

در غیاب هر گونه تجربیات مستند دیگر، مقادیر زیر ممکن است در نظر گرفته شود:

الف-۱ چگالی جریان طراحی برای حفاظت از فولاد خام در آب دریا

چگالی های جریان (mA/m^2)			نواحی جغرافیایی
مقدار اولیه	مقدار تعمیر و نگهداری	مقدار پلاریزاسیون مجدد	
۲۲۰	۱۰۰	۱۳۰	دریای شمال (بخش شمالی) بالای 62°N 55°N تا 63°N
۱۸۰	۹۰	۱۲۰	
۱۵۰	۸۰	۱۰۰	دریای شمال (بخش جنوبی) پایین 55°N خلیج Biscay، غرب پرتقال، غرب انگلستان، غرب ایرلند، هلند
۱۳۰	۷۰	۹۰	خلیج فارس، هند، استرالیا، برزیل، غرب آفریقا
۱۱۰	۶۰	۸۰	دریای مدیترانه، دریای آدریاتیک، خلیج مکزیک، اندونزی

الف-۲ چگالی جریان طراحی برای حفاظت از فولاد خام در گل و لای شور^۱ (دمای محیط)

چگالی های جریان (mA/m^2)			نواحی جغرافیایی
مقدار اولیه	مقدار تعمیر و نگهداری	مقدار پلاریزاسیون مجدد	
۲۵	۲۰	۲۰	همه نواحی

الف-۳ مقادیر عوامل تخریب پوشش سامانه های رنگ رایج برای طراحی سامانه های حفاظت کاتدی

عامل اولیه تخریب پوشش: ۱٪ تا ۲٪ برای ناحیه زیر آب
نرخ کاهش: ۱٪ تا ۱٫۵٪ در سال

یادآوری: سامانه های رایج رنگ شامل حداقل دو لایه رنگ که در دمای محیط خشک می شوند (اپوکسی قطران ذغال سنگ، اپوکسی، ...) با ضخامت فیلم خشک از ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرومتر هستند.

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

تعیین مقاومت و عمر آند

ب-۱ فرمول مقاومت آندی (R_a)

آندهای قلمی^۱ که حداقل با ۰/۳ متر انحراف از سطح سازه فولادی نصب می شوند

اگر $L \geq 4r$

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln\left(\frac{4L}{r}\right) - 1 \right)$$

اگر $L < 4r$

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln\left(\frac{2L}{r}\right) \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L}\right)^2} \right) + \frac{r}{2L} - \sqrt{1 + \frac{r}{2L}} \right)$$

آندهای ورقه ای تخت

$$R_a = \frac{\rho}{2S}$$

دیگر شکل ها

$$R_a = \frac{0.315\rho}{\sqrt{A}}$$

که:

R_a مقاومت آندی بر حسب اهم است،

ρ مقاومت ویژه محیط بر حسب اهم متر است،

L طول آند بر حسب متر است،

r شعاع آند (برای شکلهایی غیر از استوانه $r = \frac{c}{2\pi}$ که C محیط سطح مقطع است) بر حسب متر است،

S متوسط حسابی طول و عرض آند بر حسب متر است،

A مساحت در معرض سطح آند بر حسب متر مربع است.

بدون هر گونه اطلاعات در مورد مقاومت ویژه متوسط محیط، محدوده مقادیر زیر را می توان مورد استفاده قرار داد:

- آب دریا، سرد: ۰/۳ اهم متر تا ۰/۳۵ اهم متر؛

- آب دریا، گرم: ۰/۱۵ اهم متر تا ۰/۲۵ اهم متر؛
 - گل و لای شور: ۰/۷ اهم متر تا ۱/۷۰ اهم متر؛
- برای آب شور^۱، مقاومت ویژه ممکن است بسته به مقدار نمک تا حد زیادی در نوسان باشد (۰/۲۰ اهم متر تا ۱۰ اهم متر).

ب-۲ طول عمر آند

طول عمر آند (T) ممکن است با استفاده از فرمول زیر تعیین شود:

$$T = W \cdot u / (E \cdot I_s)$$

که:

T زمان موثر عمر آند بر حسب سال است،

W جرم خالص آند بر حسب گرم کیلو است،

u عامل استفاده است و در زمانی که مواد آندی باقی مانده قادر به تحویل جریان مورد نیاز نیستند از طریق بخشی از مواد آندی که مصرف شده اند تعیین می شود. شکل آند بر عامل استفاده که ممکن است در محدوده ۰/۷ تا ۰/۹۵ باشد تاثیر می گذارد،

E نرخ مصرف مواد آندی در محیط مربوطه بر حسب کیلو گرم بر آمپر در طول سال در نظر گرفته می شود،
 I_s خروجی جریان الکتریکی متوسط (میانگین) در طول عمر بر حسب آمپر است.

پیوست ج

(آگاهی دهنده)

ویژگی های الکتروشیمیایی رایج آندهای جریان اعمالی

مواد آند	آهنگ مصرف (g/Ay)	بیشینه چگالی جریان (A/m ²)	بیشینه ولتاژ (V)
تیتانیم با پوشش پلاتین	^(a) ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۱۲	۳۰۰۰ تا ۵۰۰	۸ ^(b)
نیوبیم با پوشش پلاتین	^(a) ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۱۲	۳۰۰۰ تا ۵۰۰	۵۰
تانتالیم با پوشش پلاتین	^(a) ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۱۲	۳۰۰۰ تا ۵۰۰	۱۰۰
اکسید مختلط فلزی بر روی زمینه تیتانیم	۰/۰۰۰۶ تا ۰/۰۰۰۶	۱۰۰۰ تا ۴۰۰	۸ ^(b)
نقره سرب	۱۰۰ تا ۲۵	۳۰۰ تا ۲۵۰	۲۴

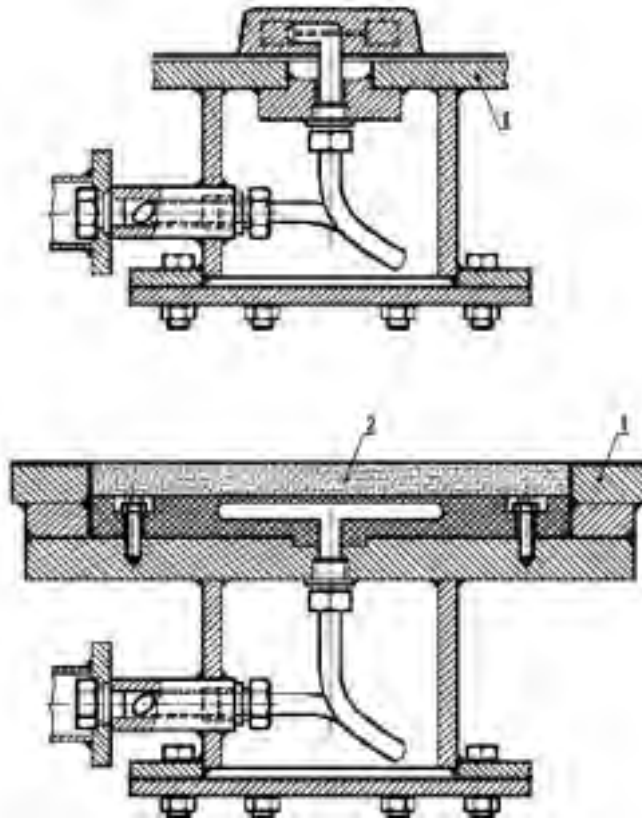
(a) عمر مفید پلاتین ممکن است از مقاومت ویژه الکترولیت تاثیر پذیرد، آهنگ مصرف با مقاومت ویژه افزایش می یابد. همچنین عمر فیلم پلاتین می تواند با مقدار و بسامد امواجی که در منبع تغذیه جریان مستقیم قرار دارند تاثیر پذیرد. توصیه می شود از فرکانس های امواج کمتر از ۱۰۰ هرتز اجتناب شود.

(b) در آب دریا، فیلم اکسیدی تشکیل شده بر روی فلز تیتانیم ممکن است در صورت افزایش ولتاژ از ۸ ولت در آند دچار تخریب شود. ولتاژهای بیشتر ممکن است با آندهای پلاتین شده کامل یا در محیط هایی با شوری کمتر استفاده شود.

پیوست د

(آگاهی دهنده)

آرایش رایج فضای خالی (cofferdam)

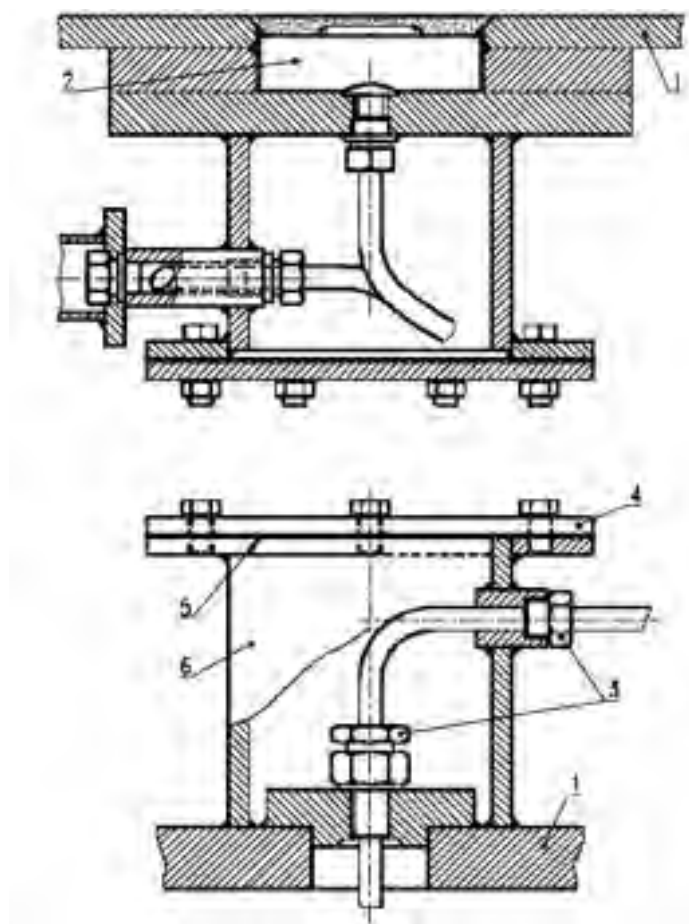


راهنما:

1 بدنه

2 ناحیه فعال (آند)

شکل د-۱ نصب متداول آند به همراه آرایش فضای خالی



راهنما:

- 1 بدنه
- 2 الکتروود مرجع
- 3 جعبه چاشنی (Stuffing box)
- 4 فلنج انتها بسته
- 5 آستر نئوپرن
- 6 فضای خالی

شکل د-۲ معبر کامل بدنه متداول با آرایش فضای خالی