Cathodic protection – Part 1: General principles of onshore cathodic protection

حفاظت کاتدی- قسمت ۱:

اصول کلی حفاظت کاتدی در خشکی

ویرایش اول

بهمن ۱۴۰۱

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیش‌گفتار صنعت نفت

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس‌کننده دیدگاه‌های وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز، فرآورده‌های نفتی و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی و داخلی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی به طور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها به صورت شماره‌گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، به شکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آن‌ها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه‌ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آن‌ها را تامین می‌نماید تهیه و پیوست شوند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرارگرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استانداردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آن‌ها ملاک عمل می‌باشد.

در اجرای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ابلاغی ریاست محترم جمهوری، این استاندارد در تاریخ ۱۴۰۱/۱۱/۲۶ با شماره (INSO 18749-1) توسط سازمان ملی استاندارد ملی اعلام گردید.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادهای اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادهای دریافتی در کارگروه‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۷
استانداردها و ضوابط فنی
کدپستی : ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱
تلفن : ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵
دور نگار : ۸۸۸۱۰۴۶۲
پست الکترونیک: Standards@nioc.ir

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفهٔ تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر 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 منصفانهٔ 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 پیشنهادها در کمیتهٔ 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 درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ 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)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] 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 زیست‌محیطی 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 زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، 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، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا 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 of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«حفاظت کاتدی- قسمت ۱: اصول کلی حفاظت کاتدی درخشکی»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
معصومی، محسن (دکتری مهندسی پلیمر)	کمیته فنی متناظر ISIRI/TC 35
دبیر:	
سنگ‌سفیدی، لاله (کارشناسی ارشد شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آخوندنسب، سعید (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی)	شرکت ملی گاز ایران
آریانسب، فضه (دکتری شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد
ابراهیم، الهام (کارشناسی شیمی کاربردی)	پژوهشگاه استاندارد
اعتماد مقدم، امین (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت مهندسی مشاور نارگان
الداغی، حامد (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد)	شرکت نفت و گاز پارس
امیدی، رحمت‌الله (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از فلزات)	شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی
پاکزاد، الهام (کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر- صنایع رنگ)	شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
جلایی، علی (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد)	شرکت نفت و گاز پارس
حسینی، سیدروح الله (کارشناسی ارشد مهندسی متالوژی- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت مهندسین مشاور سازه
حامدیان مقدم، مجتبی (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- پلیمر)	شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی
خالقی مقدم، ماهرو (دکتری شیمی آلی)	پژوهشگاه استاندارد، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی
رستگار زارع، محمدحسن (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی)	شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران
سراقی، حسین (مهندسی شیمی- فرایند پالایش)	شرکت ملی گاز ایران
سلیمی، علیرضا (کارشناسی مکانیک- تکنولوزی تاسیسات حرارتی و برودتی)	شرکت صنایع پتروشیمی کرمانشاه
سیدریحانی، سید مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی)	شرکت پالایش نفت تبریز
شمشیری، علیرضا (کارشناسی ارشد مهندسی متالوژی- خوردگی)	شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی
صالحی، علیرضا (کارشناسی ارشد مهندسی مواد)	شرکت مهندسین مشاور نامووران
صداقت، علی (دکتری مهندسی مواد- سرامیک)	پژوهشگاه مواد و انرژی
ظفری، محمود (کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر- صنایع رنگ)	شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
غفوری یزدی، سید حسین (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب
غلامی، آذر (کارشناسی ارشد مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد فلزی)	شرکت ملی پخش فراورده های نفتی ایران
فولادی، محمد (کارشناسی ارشد انتخاب و شناسایی مواد)	شرکت نارگان
کوشکی، عظیم (کارشناسی ارشد مهندسی بازرسی فنی)	معاونت مهندسی وزارت نفت- اداره کل فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح ها
متشکر، ابوالفضل (دکتری مهندسی مواد)	شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
ناصحی اسکویی، محمدرضا (کارشناسی مهندسی شیمی- صنایع پتروشیمی)	شرکت مهندسی و توسعه نفت

ویراستار:

ابراهیم، الهام (کارشناسی شیمی کاربردی)	پژوهشگاه استاندارد

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ط

مقدمه ی

۱ هدف و دامنه کاربرد ۱

۲ مراجع الزامی ۱

۳ اصطلاحات و تعاریف ۲

۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها ۱۲

۵ صلاحیت کارکنان حفاظت کاتدی ۱۳

۶ اصول و معیارهای حفاظت کاتدی ۱۳

۶-۱ اصول حفاظت کاتدی ۱۳

۶-۲ معیارهای حفاظت کاتدی ۱۳

۶-۳ معیارها درصورت وجود AC ۱۷

۷ پیش‌نیازهای اِعمال حفاظت کاتدی ۱۷

۷-۱ کلیات ۱۷

۷-۲ پیوستگی الکتریکی ۱۷

۷-۳ جداسازی الکتریکی ۱۸

۷-۴ پوشش بیرونی ۱۹

۸ داده‌های مفید و الزامات طراحی ۱۹

۸-۱ کلیات ۱۹

۸-۲ جزئیات سازه ۱۹

۸-۳ شرایط سرویس ۲۰

۹ طراحی ۲۰

۹-۱ کلیات ۲۰

۹-۲ طول عمر طراحی ۲۱

۹-۳ سازه‌های مجاور و منابع الکتریکی بیرونی ۲۱

عنوان **صفحه**

۹-۴ پیوستگی/عدم پیوستگی الکتریکی ۲۱
۹-۵ پوشش‌های حفاظتی ۲۲
۹-۶ تقاضای جریان ۲۲
۹-۷ سامانه‌های آند گالوانی ۲۳
۹-۸ سامانه‌های حفاظت کاتدی جریان اِعمالی (ICCP) ۲۹
۹-۹ دستگاه‌های جداساز AC و DC ۳۱
۹-۱۰ پایش ۳۲
۹-۱۱ کابل ۳۲
۱۰ نصب سامانه‌های حفاظت کاتدی ۳۴
۱۱ فرایند راه‌اندازی ۳۴
۱۱-۱ کلیات ۳۴
۱۱-۲ بررسی مقدماتی ۳۴
۱۱-۳ راه‌اندازی ۳۵
۱۱-۴ ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی ۳۶
۱۱-۵ مستندسازی ۳۶
۱۲ پایش، بازرسی و نگهداشت ۳۷
۱۲-۱ کلیات ۳۷
۱۲-۲ پایش ۳۸
۱۲-۳ بازرسی ۳۹
۱۲-۴ نگهداشت ۳۹
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) احتمال خوردگی در خاک‌ها ۴۱
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) کاهش نرخ خوردگی به‌وسیله پلاریزه‌شدن کاتـدی ۱۰۰ mV — جابجایی ۱۰۰ mV پتانسیل کاتدی ۴۳
کتاب‌نامه ۴۵

پیش‌گفتار

استاندارد «حفاظت کاتدی- قسمت ۱: اصول کلی حفاظت کاتدی درخشکی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در یکصدونودوسومین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد فلزشناسی مورخ ۱۴۰۱/۱۱/۲۶ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- سازه و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و سرویس، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

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

EN 12954: 2019, General principles of cathodic protection of buried or immersed onshore metallic structures

IPS-C-TP-820: 2013, Construction standard for cathodic protection

IPS-E-TP-820: 2010, Engineering standard for cathodic protection

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

مقدمه

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی ایران شمارهٔ ۱۸۷۴۹ است و سایر قسمت‌های این استاندارد به شرح زیر است:

— قسمت ۲: اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا

— قسمت ۳: بازرسی و آزمون

حفاظت کاتدی تکنیکی مبتنی بر کاربرد اصول الکتروشیمیایی است. این امر با تامین جریان مستقیم کافی به سطح بیرونی به‌دست می‌آید؛ طوری‌که پتانسیل سازه فلزی به الکترولیت[1] به مقادیر منفی‌تری منتقل می‌شود، که در آن‌ها خوردگی بیرونی ناچیز می‌شود. حفاظت کاتدی گستره‌ای وسیع از مواد و تجهیزات را پوشش می‌دهد و به تکنیک‌های اندازه‌گیری مختلفی نیاز دارد.

این استاندارد برای حفاظت از سطوح بیرونی انواع سازه‌های فلزی مدفون یا غوطه‌ور کاربرد دارد. با این‌حال، به‌منظور اجازه به سازه‌های دارای جنبه‌های خاص در رابطه با شکل، کاربری، پیکربندی دقیق، ساخت، راه‌اندازی یا بهره‌برداری، استانداردهای تکمیلی همراه با این استاندارد برای رسیدگی به ویژگی‌های این سازه‌ها در نظر گرفته شده است.

برای دستیابی به طراحی، نصب، راه‌اندازی، بازرسی و نگهداشت موثر حفاظت کاتدی، ضروری است که کارها توسط کارکنان شایسته[2] انجام شود.

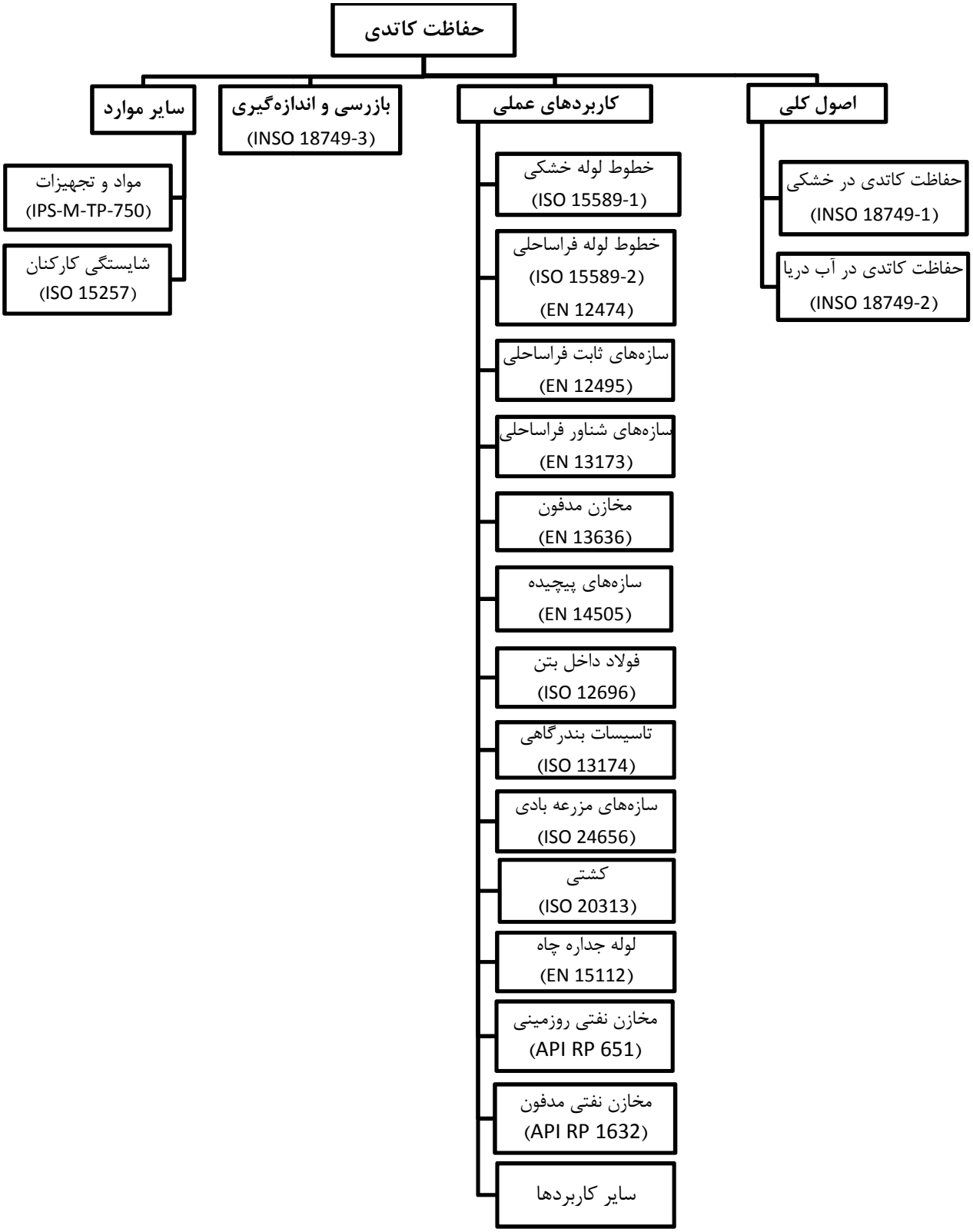
این استاندارد شرایط لازم برای در نظرگرفتن حفاظت کاتدی به‌عنوان روشی کارآمد، که می‌تواند برای کاهش خوردگی اعمال شود، را مشخص می‌کند. حفاظت کاتدی معمولا در ترکیب با پوشش استفاده می‌شود.

راه‌حل‌های جایگزین برای راه‌حل‌های ارائه‌شده در این استاندارد ممکن است به‌کار گرفته شوند؛ به‌شرطی که ثابت شود که اثربخشی معادل دارند و به‌خوبی مستندسازی شده‌اند.

استانداردهای مربوط به حفاظت کاتدی را می‌توان مطابق با شکل ۰ (صفر) دسته‌بندی کرد.

[1]- Metallic structure to electrolyte potential
[2]- Competent personnel

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱



شکل ۰- دسته‌بندی استانداردهای حفاظت کاتدی

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

حفاظت کاتدی- قسمت ۱: اصول کلی حفاظت کاتدی درخشکی

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه اصول کلی برای اجرا و مدیریت سامانه حفاظت کاتدی درمقابل حملات خورنده به سازه‌های مدفون یا در تماس با خاک، آب‌های شیرین سطحی یا آب‌های زیرزمینی، با و بدون تداخل منابع الکتریکی بیرونی، است. این استاندارد، معیارهای حفاظتی برای اثبات اثربخشی حفاظت کاتدی را مشخص می‌کند.

برای سازه‌هایی که از نظر الکتریکی نمی‌توانند از سازه‌های تأثیرگذار مجاور جداسازی شوند، ممکن است استفاده از معیارهای تعریف‌شده در این استاندارد ناممکن باشد. در این‌صورت، استاندارد EN 14505 کاربرد خواهد داشت (به زیربند ۹-۴ در مورد «پیوستگی/ناپیوستگی الکتریکی» مراجعه شود).

یادآوری- برای کمک به تصمیم‌گیری در مورد اعمال یا عدم اعمال حفاظت کاتدی، احتمال خوردگی را می‌توان با استفاده از پیوست **الف** که چکیده الزامات ارائه شده در استانداردهای EN 12501-1 [2] و EN 12501-2 [3] است، ارزیابی کرد.

حفاظت کاتدی سازه‌های غوطه‌ور در آب دریا یا آب‌های لب‌شور[1] به‌وسیله استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۸۷۴۹ و مجموعه‌ای از استانداردهای خاص برای کاربردهای مختلف پوشش داده شده است.

حفاظت کاتدی برای سازه‌های بتن مسلح تحت پوشش استاندارد ISO 12696 قرار دارد.

این استاندارد همراه با استانداردهای زیر به‌کار می‌رود:

— استاندارد ISO 15589-1 برای خطوط لوله مدفون یا غوطه‌ور تحت حفاظت کاتدی؛

— استاندارد EN 50162 برای مدیریت جریان‌های سرگردان DC؛

— استاندارد ISO 18086 برای مدیریت خوردگی ناشی از تداخل AC از منابع تغذیه ولتاژ بالا و سامانه‌های کششیِ[2] AC؛

— استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹ برای بازرسی و آزمون حفاظت کاتدی؛

— استاندارد EN 50443 به‌منظور مدیریت حفاظت برای ولتاژ تماسی[3] و گامی[4].

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به‌صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

1- Brackish water

2- Traction systems

3- Touch voltage

4- Step voltage

درصورتی‌که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 EN 12496, Galvanic anodes for cathodic protection in seawater and saline mud

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۳۴۵: سال ۱۳۹۴، آندهای گالوانی برای حفاظت کاتدی در آب دریا و گل شور، با استفاده از استاندارد ISO 12496:2013 تدوین شده است.

2-2 EN 13509, Cathodic protection measurement techniques

2-3 EN 14505, Cathodic protection of complex structures

2-4 EN 50162, Protection against corrosion by stray current from direct current systems

2-5 EN 60079-10-1, Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres (IEC 60079-10-1)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰-۵۵۰۵: سال ۱۳۹۶، محیط‌های قابل انفجار- قسمت ۱۰-۱: طبقه‌بندی مناطق- محیط‌های گازی قابل انفجار، با استفاده از IEC 60079-10-1:2015 + Cor 1:2015 تدوین شده است.

2-6 ISO 8044, Corrosion of metals and alloys - Basic terms and definitions

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۰۲۲: سال ۱۳۹۵، خوردگی فلزات و آلیاژها- اصطلاحات و تعاریف پایه، با استفاده از استاندارد ISO 8044:2015 تدوین شده است.

2-7 ISO 15257, Cathodic protection- Competence levels of cathodic protection persons- Basis for certification scheme

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره INSO-ISO-15257: سال ۱۳۹۷، حفاظت کاتدی- سطوح شایستگی اشخاص حفاظت کاتدی- اصول طرح گواهی‌کردن، با استفاده از استاندارد ISO 15257:2017 تدوین شده است.

2-8 ISO 18086, Corrosion of metals and alloys - Determination of AC corrosion - Protection criteria

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۳۴۴: سال ۱۳۹۴، خوردگی فلزات و آلیاژها- تعیین خوردگی جریان متناوب (AC) معیارهای حفاظت، با استفاده از استاندارد ISO 18086:2015 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه‌شده در استاندارد ISO 8044، اصطلاحات با تعاریف زیر به‌کار می‌رود[۱].

۳-۱
شرایط بی‌هوازی

anaerobic condition

کمبود اکسیژن آزاد در الکترولیت مجاور یک سازه فلزی است.

۱- اصطلاحات و تعاریف به‌کاررفته در استانداردهای ISO و IEC در وب‌گاه‌های http://www. iso.org/obp و http://www.electropedia.org/ قابل دسترس است.

۲-۳

دورآکند آند

پشت‌بند آند

anode backfill

مصالحی است که پیرامون و در تماس با یک آند مدفون، اضافه می‌شود.

۳-۳

پیوند الکتریکی

electrical bond

هادی فلزی، معمولا مسی، که دو نقطه در یک سازه یا سازه‌های مختلف را به هم متصل می‌کند.

۴-۳

سامانه حفاظت کاتدی

cathodic protection system

کلیه اجزای فعال و غیرفعال مرتبط با ارائه حفاظت فعال درمقابل خوردگی بیرونی و پایش آن است.

یادآوری ۱- حفاظت کاتدی به‌وسیله آندهای جریان اِعمالی یا آندهای گالوانی و با استفاده از یک یا چند ایستگاه انجام می‌شود.

یادآوری ۲- سامانه‌های جریان اِعمالی و آند گالوانی شامل کلیه تجهیزات لازم برای اعمال حفاظت کاتدی نظیر ایستگاه‌های جریان اِعمالی، آندهای گالوانی، اتصال‌های الکتریکی و اتصال‌های عایقی هستند.

۵-۳

ضریب گسیختگی پوشش

f_C

coating breakdown factor

نسبت «چگالی جریان لازم برای پلاریزه‌کردن سطح فولادی پوشش‌شده» به «چگالی جریان لازم برای پلاریزه‌کردن سطح فولادی بدون پوشش» است.

۶-۳

میانگین مقاومت پوشش

میانگین مقاومت سازه به خاک

$\mathbf{r_{co}}$

average coating resistance
average structure to soil resistance

مقدار حاصل از نسبت «اختلاف بین پتانسیل‌های خاموش و وصل» به «جریان حفاظتی و سطح سازه مورد نظر» است.

یادآوری ۱- میانگین مقاومت پوشش معمولا برحسب $\Omega.m^2$ بیان می‌شود.

یادآوری ۲- میانگین مقاومت پوشش عمدتا به‌وسیله اندازه و تعداد عیوب پوشش، تخلخل پوشش و مقاومت ویژه الکترولیت تعیین می‌شود.

۷-۳

سازه پیچیده

complex structure

سازه‌ای که متشکل از سازهٔ مورد حفاظت و یک یا چند الکترود بیگانه[1] است؛ که به‌دلایل ایمنی یا فنی، به‌صورت الکتریکی از سازه جدا نشده‌اند.

۸-۳

الکترود مرجع مس/سولفات مس اشباع

CSE

copper/saturated copper sulphate reference electrode

الکترود مرجع متشکل از قطعه مس در محلول اشباع سولفات مس است.

۹-۳

کوپن

coupon

نمونه فلزی نماینده، با ابعاد سطح بدون پوششِ مشخص است.

یادآوری- یک کوپن را می‌توان به‌صورت الکتریکی به سازه متصل کرد.

۱۰-۳

دستگاه جداساز DC

DC decoupling device

تجهیزی که مسیری با امپدانس کم برای AC و مقاومت بالا برای DC فراهم می‌کند.

یادآوری- پیل‌های پلاریزه‌کننده[2]، خازن‌ها یا مجموعه‌های دیود، مثال‌هایی از این تجهیزات هستند.

۱۱-۳

دپلاریزه‌شدن

depolarization

تغییر آندی پتانسیل یک الکترود پلاریزه‌شده کاتدی، پس از قطع‌شدن یا از دست‌دادن منبع حفاظت کاتدی است.

۱۲-۳

جریان طراحی

design current

حداکثر جریان لازم برای حفاظت از یک سازه در طول عمر یک سامانه حفاظت کاتدی است.

یادآوری- این جریان ممکن است حاصل محاسبه یا آزمون (روی سازه موجود) باشد. جریان طراحی می‌تواند تحت‌تاثیر حد مجاز طراحی قرار گیرد (با توجه به شرایط چیدمان، پیرشدگی[1] پوشش، شرایط محیطی، شرایط عملیاتی و غیره).

1- Foreign electrode

2- Polarization cells

۱۳-۳
تخلیه
تخلیه الکتریکی

drainage
electrical drainage

انتقال جریان سرگردان از سازه تحت تاثیر به منبع آن، با استفاده از یک پیوند الکتریکی آگاهانه است.

یادآوری- برای دستگاه‌های تخلیه (پیوند تخلیه مستقیم، پیوند تخلیه مقاومتی، پیوند تخلیه یک‌طرفه و پیوند تخلیه اجباری) به EN 50162 مراجعه شود.

۱۴-۳
ایستگاه تخلیه

drainage station

تجهیزات و مواد لازم برای تخلیه جریان‌های سرگردان از سامانه‌های تحت تاثیر است.

۱۵-۳
ولتاژ محرکه

driving voltage

اختلاف بین پتانسیل سازه/الکترولیت و پتانسیل آند/الکترولیت، هنگام عملیات حفاظت کاتدی است.

۱۶-۳
سامانه اتصال به زمین

earthing system

ترتیب اتصال‌ها و وسایل لازم برای اتصال به زمین تجهیز یا سامانه به‌طور جداگانه یا مشترک است.

۱۷-۳
پیوستگی الکتریکی

electrical continuity

وضعیت فیزیکی یک سازه، طوری‌که جریانی که در آن در گردش است، افت ولتاژ قابل توجهی ایجاد نکند.

۱۸-۳
جداسازی الکتریکی

electrical isolation

عدم پیوستگی الکتریکی بین سازه‌ها یا اجزا است.

۱۹-۳
سازه بیگانه
الکترود بیگانه

---

[1]- Ageing

foreign structure
foreign electrode

سازه یا الکترود (آند یا کاتد) فلزی، که خارج از مدار حفاظت، در تماس با سازه مورد نظر است.

یادآوری- آند بیگانه، الکترود بیگانه است که پتانسیلی منفی‌تر نسبت به سازه دارد؛ و کاتد بیگانه، الکترود بیگانه است که پتانسیلی مثبت‌تر نسبت به سازه دارد.

۲۰-۳

آند گالوانی

galavnic anode

الکترودی که جریان حفاظت کاتدی را با استفاده از عمل گالوانی تامین می‌کند.

۲۱-۳

بستر

groundbed

سامانهٔ آندهای جریان اِعمالی یا گالوانی مدفون یا غوطه‌ور است.

۲۲-۳

رخنه

holiday

نقص در پوشش محافظ، که در آن فلز درمعرض محیط قرار می‌گیرد.

۲۳-۳

سازه غوطه‌ور

immersed structure

سازه فلزی یا بخشی از آن که در یک محیط مایع مانند آب شیرین (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها) قرار گرفته است.

۲۴-۳

آند جریان اِعمالی

impressed current anode

الکترودی که جریان حفاظت کاتدی را با استفاده از منبع جریان اِعمالی تامین می‌کند.

۲۵-۳

ایستگاه جریان اِعمالی

impressed current station

ایستگاهی که شامل تجهیزات و مواد لازم برای تامین حفاظت کاتدی به‌روش جریان اِعمالی است.

یادآوری- این مواد و تجهیزات شامل آندهای جریان اِعمالی، کابل‌ها، یک یا چند منبع DC (برای مثال مبدل‌های یکسوکننده) و امکانات آزمون است (به IPS-M-TP-750 مراجعه شود).

۲۶-۳

فلنج‌های عایقی

insulated flanges

اتصال فلنجی بین طول‌های مجاور لوله است، که در آن مهره‌ها و پیچ‌ها از فلنج(ها) از نظر الکتریکی عایق می‌شوند و درزگیرِ نشت‌بند نارسانا است؛ طوری‌که در آن نقطه، یک ناپیوستگی الکتریکی در سازه (برای مثال خط لوله، سامانه لوله‌کشی) وجود دارد.

۲۷-۳

تداخل

interference

پدیده ناشی از جفت‌شدن[1] رسانا، خازنی یا القایی بین یک سازه و یک منبع الکتریکی بیگانهٔ DC یا AC یا بین دو سازه است؛ که می‌تواند باعث اشکال در عملکرد[2]، ولتاژ خطرناک، آسیب و غیره شود.

یادآوری- جفت‌شدن خازنی و القایی مربوط به تداخل AC هستند.

۲۸-۳

آزمون تداخل

interference test

آزمون برای تعیین برهم‌کنش الکتریکی بین دو سازه است.

۲۹-۳

افت IR

IR drop

افت ولتاژ ناشی از هر جریانی که در هر قسمت از مدار ایجاد می‌شود، مانند الکترولیت (معمولا خاک)، که مطابق با قانون اهم است.

یادآوری ۱- در این استاندارد، هنگامی‌که افت IR مورد بحث قرار می‌گیرد، عمدتا افتی است که در الکترولیت (معمولا خاک)، بین الکترود مرجع و فلز سازه وجود دارد.

یادآوری ۲- افت IR در الکترولیت می‌تواند بر درستی پتانسیل سازه به الکترولیت تأثیر بگذارد.

۳۰-۳

پتانسیل بدون IR

$E_{IR\ free}$

IR free potential

پتانسیل سازه به الکترولیت، که بدون خطای ولتاژ حاصل از افت IR ناشی از جریان حفاظتی یا هر جریان دیگر، اندازه‌گیری می‌شود.

۳۱-۳

اتصال عایقی

isolating joint

1-Coupling
2- Malfunction

جزء عایق الکتریکی بین دو بخش از یک سازه، به‌منظور ایجاد ناپیوستگی الکتریکی بین آن‌ها است.

مثال: اتصال عایقی تک‌بلوکی (یکپارچه)، فلنج عایقی، جفت شدن عایقی.

۳۲-۳

پتانسیل بحرانی حدی

limiting critical potential

پتانسیل بدون IR، که در زیر آن خطر تأثیر زیان‌آور روی ماده حفاظت‌شده وجود دارد.

۳۳-۳

پتانسیل خاموش

E_{OFF}

OFF-potential

پتانسیل سازه به الکترولیت، که بلافاصله پس از قطع هم‌زمان تمام منابع جریان حفاظت کاتدیِ اعمال‌شده و قبل از دپلاریزه‌شدن قابل توجه سازه، اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری ۱- در صورت وجود تداخل DC یا AC، ممکن است E_{OFF} گمراه‌کننده باشد.

یادآوری ۲- پتانسیل خاموش در این استاندارد با پتانسیل طبیعی[1] سازه نسبت به الکترولیت که سازه در وضعیت دپلاریزاسیون کامل است و همچنین با پتانسیل لحظه خاموش[2] که بلافاصله در لحظه قطع جریان مشخص می‌شود، متفاوت است.

یادآوری ۳- پتانسیل خاموش در این استاندارد، با درنظر گرفتن یک اختلاف زمانی کوتاه (معمولا ۱۵۰ ms تا ۳۰۰ ms، با توجه به شرایط سازه و الکترولیت) پس از قطع جریان، اندازه‌گیری می‌شود (به شکل ب-۲ در پیوست **ب** مراجعه شود). این امر جهت حذف خطای ناشی از پرش ولتاژ[3] در لحظه قطع جریان می‌باشد. توصیه میشود برای تعیین دقیق زمان اندازه‌گیری پتانسیل خاموش، نمودار دپلاریزاسیون (پتانسیل- زمان) هر سازه رسم شود تا نقطه دقیق شروع دپلاریزاسیون پس از پرش ولتاژ مشخص شود.
لازم به ذکر است به دلیل اختلاف زمانی کوتاه بین پتانسیل خاموش و پتانسیل لحظه خاموش و همچنین برای اجتناب از اشتباه گرفتن پتانسیل خاموش با پتانسیل طبیعی سازه، در برخی استانداردها به جای واژه پتانسیل خاموش، واژه پتانسیل لحظه خاموش ارائه شده است که اندازه‌گیری آن با درنظر گرفتن یک اختلاف زمانی کوتاه پس از قطع جریان می‌باشد.

۳۴-۳

پتانسیل وصل

E_{ON}

ON-potential

پتانسیل سازه به الکترولیت، که همراه با جریان حفاظت کاتدی و/یا هر جریان جاری دیگر، اندازه‌گیری می‌شود.

1- Natural potential
2- Instant-off potential
3- Voltage spiking

۳۵-۳
پلاریزه‌شدن
پلاریزه‌شدن الکترود

polarization
electrode polarization

تغییر در پتانسیل سازه به الکترولیت، حاصل از جاری‌شدن جریان به سازه یا از آن است.

۳۶-۳
سازه حفاظت‌شده

protected structure

سازه‌ای که حفاظت کاتدی روی آن اعمال می‌شود.

۳۷-۳
جریان حفاظتی

protection current

جریانی که از محیط الکترولیتی خود به‌سمت یک سازه فلزی جاری می‌شود؛ تا حفاظت کاتدی سازه تامین شود.

۳۸-۳
پتانسیل حفاظتی

protection potential

پتانسیل سازه به الکترولیت، که در آن نرخ خوردگی فلز در سازه قابل پذیرش است.

۳۹-۳
زمینِ دور

remote earth

بخشی از الکترولیت است که در آن هیچ ولتاژ قابل توجهی، ناشی از جاری‌شدن جریان، بین هیچ دو نقطه وجود ندارد.

یادآوری- وضعیتِ زمین دور، عموما در بیرون از منطقه تأثیر الکترود زمین، سامانه اتصال به زمین، بستر جریان اِعمالی یا سازه حفاظت‌شده غالب است.

۴۰-۳
پایش از راه دور

remote monitoring

اندازه‌گیری با استفاده از سامانه‌های مخابراتی برای انتقال داده‌ها است.

یادآوری- در صورت تجاوز از حدود بالا و پایینِ از قبل تعیین‌شده، پایش از راه دور می‌تواند شامل سامانه گزارش‌دهی خودکار باشد.

۴۱-۳

الکترود استاندارد هیدروژن

standard hydrogen electrode

الکترود مرجع، که به‌عنوان الکترود استاندارد در آزمایشگاه‌ها استفاده می‌شود؛ و متشکل از یک فلز بی‌اثر (مانند پلاتین) در الکترولیتی حاوی یون‌های هیدروژن با فعالیت واحد و اشباع‌شده با گاز هیدروژن در یک جو استاندارد است.

۴۲-۳

جریان سرگردان

stray current

جریانی که از مسیرهایی غیر از مدارهای مورد نظر جاری می‌شود.

۴۳-۳

سازه

structure

سازه فلزی، اعم از پوشش‌شده یا بدون پوشش، که در تماس با الکترولیت است.

یادآوری ۱- خاک یا آب، مثال‌هایی از الکترولیت هستند.

یادآوری ۲- سازه می‌تواند نمایانگر سازه‌هایی با طول زیاد مانند کابل‌های برق زیرزمینی و همچنین سازه‌هایی در مقیاس کوچک‌تر مانند شمع‌ها، شمع‌کوبی‌های ورقی، مخازن یا سایر سازه‌های زیرزمینی باشد.

۴۴-۳

پتانسیل سازه به الکترولیت

structure-to-electrolyte potential

اختلاف پتانسیل بین «سطح فلزی سازه در تماس با الکترولیت» و «الکترود مرجع در تماس با الکترولیت» در نقطه‌ای که به‌اندازه کافی به سازه نزدیک است، ولی با آن تماس ندارد.

۴۵-۳

باکتری‌های کاهنده سولفات
SRB

sulphate reducing bacteria

گروهی از باکتری‌ها که در بیشتر خاک‌ها و آب‌های طبیعی یافت می‌شوند، ولی فقط در شرایطِ نزدیک به خنثی و در نبود اکسیژن فعال هستند.

یادآوری- باکتری‌های کاهنده سولفات، با تولید سولفیدها، سولفات‌های محیط خود را احیا می‌کنند و خوردگی را تسریع می‌کنند.

۴۶-۳

نقطه خوانش پتانسیل

test point

نقطه‌ای که اندازه‌گیری پتانسیل در آن انجام می‌شود.

یادآوری ۱- نقطه خوانش پتانسیل ممکن است در یک ایستگاه آزمون باشد، ولی می‌تواند در هر مکانی باشد که پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری ۲- نقطه خوانش پتانسیل متناظر با محل قرارگیری الکترود مرجع است.

۳-۴۷

پراب

probe

دستگاهی که دارای کوپنی است که اندازه‌گیری پارامترهای کلیدی برای ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی و/یا احتمال خوردگی را فراهم می‌کند.

۳-۴۸

ایستگاه آزمون

test station

تاسیساتی که امکانات اندازه‌گیری و آزمون را برای سازه مدفون یا غوطه‌ور فراهم می‌کند.

یادآوری- این تاسیسات ممکن است شامل کابل‌کشی و اتصال‌های سازه باشد یا می‌تواند یک تماس مستقیم برای اهداف اندازه‌گیری باشد.

۳-۴۹

مبدل یکسوکننده

transformer rectifier

دستگاهی که ولتاژ AC را تبدیل کرده و آن را به ولتاژ DC یکسوسازی می‌کند.

یادآوری- ولتاژ DC حاصل از این روش به‌عنوان منبع تغذیه برای سامانه‌های حفاظت کاتدی جریان اِعمالی استفاده می‌شود.

۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها

نماد	عنوان فارسی	عنوان ببب عنوان انگلیسی
I	جریان	Current
ICCP	حفاظت کاتدی جریان اِعمالی	Impressed current cathodic protection
E	پتانسیل	Potential
R	مقاومت	Resistance
J	چگالی جریان	Current density
AC	جریان متناوب	Alternating current
DC	جریان مستقیم	Direct current
E_{Cu}	پتانسیل فلز یا سازه به الکترولیت باتوجه به الکترود مرجع مس/سولفات مس اشباع	Metal or structure-to-electrolyte potential with respect to a copper/saturated copper sulphate reference electrode

نماد	عنوان فارسی	عنوان ببب عنوان انگلیسی
$E_{IR\ Free}$	پتانسیل بدون IR	IR free potential
E_l	پتانسیل بحرانی حدی	Limiting critical potential
E_{OFF}	پتانسیل خاموش	Off potential
E_{ON}	پتانسیل وصل	On potential
E_p	پتانسیل حفاظتی	Protection potential
E_{cor}	پتانسیل آزاد خوردگی	Free corrosion potential
E_H	پتانسیل فلز یا سازه به الکترولیت باتوجه به الکترود استاندارد هیدروژن	Metal or structure-to-electrolyte potential with respect to a standard hydrogen electrode
F_c	ضریب گسیختگی پوشش	Coating breakdown factor
F_f	ضریب گسیختگی پوشش نهایی	Final coating breakdown factor
F_i	ضریب گسیختگی پوشش اولیه	Initial coating breakdown factor
Δf	میانگین افزایش سالانه در ضریب گسیختگی پوشش	Average yearly increase in the coating breakdown factor
I_p	تقاضای جریان حفاظتی	Protection current demand
I_{tot}	تقاضای کل جریان	Total current demand
K	ضریب پیش‌آیندی	Contingency factor
S	مساحت سطح	Surface area
SPD	دستگاه حفاظت درمقابل خیز موج	Surge protective device
T	دما	Temperature
T	زمان	Time
T_{dl}	طول عمر طراحی	Design life time
P	مقاومت ویژه	Resistivity

۵ صلاحیت کارکنان حفاظت کاتدی

کارکنانی که طراحی، نظارت بر نصب، راه‌اندازی، نظارت بر عملیات، اندازه‌گیری‌ها، بازرسی پایشی و نظارت بر نگهداشت سامانه‌های حفاظت کاتدی را برعهده می‌گیرند، باید از سطح مناسبی از صلاحیت برای انجام وظایف محوله برخوردار باشند.

استاندارد ISO 15257، روشی مناسب برای ارزیابی شایستگی کارکنان حفاظت کاتدی را ارائه می‌دهد.

شایستگی کارکنان حفاظت کاتدی در سطح مناسب برای انجام وظایف محوله را می‌توان با صدور گواهینامه مطابق با رویه‌های پیش‌صلاحیت‌سنجی[1] مانند استاندارد ISO 15257 یا سایر طرح‌های معادل نشان داد.

1- Prequalification

۶ اصول و معیارهای حفاظت کاتدی

۶-۱ اصول حفاظت کاتدی

نرخ خوردگی یک فلز در خاک یا آب تابعی از پتانسیل الکترودِ (E) ماده در محیط اطراف آن است. در فلزات/آلیاژها، با جابجایی پتانسیل در جهت منفی، نرخ خوردگی کاهش می‌یابد؛ به‌جز در مورد فلزات یا آلیاژهایی که ممکن است در pH بالا غیرفعال[1] یا دچار خوردگی شوند. این جابجایی منفی پتانسیل با اعمال جریان مستقیم کافی از آندها، از طریق خاک یا آب، به سطح فلزی سازه مورد حفاظت حاصل می‌شود. در مورد سازه‌های پوشش‌شده، جریان از میان رخنه‌ها به‌سمت سطح فلز جاری می‌شود. جریان حفاظتی ممکن است به‌وسیله ایستگاه‌های جریان اِعمالی یا آندهای گالوانی تامین شود.

اگر چگالی جریان سطحی به‌اندازه‌ای باشد که بتواند پتانسیل را تا مقداری کاهش دهد که نرخ خوردگی پسماندِ قابل پذیرش برای سازه حاصل شود، حفاظت کاتدی موثر خواهد بود. شرایط زیان‌آوری که می‌تواند باعث سپرشدن[2] جریان حفاظت کاتدی شود، معمولا شامل پوشش‌های جداشده، پوشش‌های عایق گرمایی، اجسام عایق یا الکترولیت‌های با مقاومت بالا است.

۶-۲ معیارهای حفاظت کاتدی

۶-۲-۱ اختلاف پتانسیل

معیارهای حفاظت کاتدی اغلب بر اساس پتانسیل فلز مورد حفاظت در الکترولیت خورنده (خاک یا آب) هستند. پتانسیل حفاظتی فلز (E_{p}) متناظر با آستانه‌ای است که در آن نرخ خوردگی فلز به سطحی کاهش می‌یابد که برای اهداف عملی، مقدار پایینِ قابل پذیرش[3] در نظر گرفته می‌شود. بنابراین معیارهای حفاظت کاتدی عبارتند از:

$$E \leq E_{\mathrm{p}} \qquad (۱)$$

سامانه حفاظت کاتدی باید بتواند تمام قسمت‌های سازه مدفون را به پتانسیل‌های منفی‌تر از E_{p} پلاریزه کند، و این پتانسیل‌ها را در طول عمر طراحی سازه حفظ کند.

پتانسیل حفاظتی E_{p}، به فلز موجود در محیط آن بستگی دارد.

برای فولاد کربنی، فولادهای کم‌آلیاژ و چدن، نرخ خوردگی پسماند متناظر با E_{p}، برابر با ۰٫۰۱ mm/year در نظر گرفته می‌شود.

برخی از فلزات در پتانسیل‌های بسیار منفی، ممکن است در معرض آسیبِ خوردگی/تخریب قرار گیرند. بنابراین، برای این فلزات، پتانسیل نباید منفی‌تر از یک پتانسیل بحرانی حدی (E_{l}) باشد. در این موارد، معیار حفاظت کاتدی عبارت است از:

2- Passivate

3- Shielding

1- Acceptably low

$$E_{\mathrm{l}} \leq E \leq E_{\mathrm{p}} \qquad (۲)$$

پتانسیل‌های E_{p} و E_{l}، آن‌هایی هستند که در فصل مشترک فلز به الکترولیت وجود دارند، یعنی آن‌ها باید بدون IR در نظر گرفته شوند؛ که IR افت اهمی در الکترولیت بین الکترود مرجع و فلز در مکانی است که پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود (برای مثال، در یک نقص پوشش).

رویه‌های اندازه‌گیری پتانسیل فلز به الکترولیت، در استاندارد EN 13509 به تفصیل ارائه شده است.

پتانسیل حفاظتی و هرگونه پتانسیل بحرانی حدی برای رایج‌ترین فلزات که به‌صورت کاتدی در انواع خاک و آب حفاظت می‌شوند، در جدول ۱ ارائه شده است. برای تمام موادی که در جدول ۱ ارائه نشده‌اند، پتانسیل‌های حفاظتی و بحرانی حدی باید به‌صورت تجربی، مستند یا تعیین شوند.

پتانسیل بدون IR ($E_{\mathrm{IR\ Free}}$)، باید معیارهای ارائه‌شده به‌وسیله فرمول ۱ و در صورت کاربرد، فرمول ۲ را برآورده کند. جدول ۱، پتانسیل‌های آزاد خوردگی (E_{cor})، پتانسیل‌های حفاظتی (E_{p}) و پتانسیل‌های بحرانی حدی (E_{l}) را برای فلزات مختلف در شرایط محیطی متفاوت ارائه می‌دهد.

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۷۴۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

جدول ۱ - پتانسیل‌های آزاد خوردگی، پتانسیل‌های حفاظتی و پتانسیل‌های بحرانی حدی برای مواد فلزی رایج در انواع خاک و آب (به‌استثنای آب دریا و آب لب‌شور) اندازه‌گیری‌شده نسبت به CSE

فلزات یا آلیاژها	شرایط محیطی	پتانسیل آزاد خوردگی: E_{cor} (V) مقادیر شاخص	پتانسیل حفاظتی: E_p (V) (بدون IR)	پتانسیل بحرانی حدی: E_l (V) (بدون IR)
فولادهای کربنی، کم‌آلیاژ و چدن	خاک‌ها و آب‌ها در تمام شرایط به‌غیر از مواردی‌که در زیر توضیح داده شده است	۰٫۶۵- تا ۰٫۴۰-	۰٫۸۵-	الف
	خاک‌ها و آب‌ها در ۴۰ °C < T < ۶۰ °C	—	ب	الف
	خاک‌ها و آب‌ها در T > ۶۰ °C [پ]	۰٫۸۰- تا ۰٫۵۰-	۰٫۹۵- [پ]	الف
	خاک‌ها و آب‌ها در شرایط هوازی در T < ۴۰ °C همراه با ۱۰۰ Ω.m < ρ < ۱۰۰۰ Ω.m	۰٫۵۰- تا ۰٫۳۰-	۰٫۷۵-	الف
	خاک‌ها و آب‌ها در شرایط هوازی در T < ۴۰ °C همراه با ρ > ۱۰۰۰ Ω.m	۰٫۴۰- تا ۰٫۲۰-	۰٫۶۵-	الف
	خاک‌ها و آب‌ها در شرایط بی‌هوازی همراه با خطر فعالیت باکتری‌های کاهنده سولفات	۰٫۸۰- تا ۰٫۶۵-	۰٫۹۵-	الف
فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی با عدد معادل مقاومت حفره‌ای < ۴۰	خاک‌ها و آب‌های خنثی و قلیایی در دماهای محیط	۰٫۱۰- تا ۰٫۲۰+	۰٫۵۰-	ت
فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی با عدد معادل با مقاومت حفره‌ای > ۴۰		۰٫۱۰- تا ۰٫۲۰+	۰٫۳۰-	—
فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی یا آستنیتی-فریتی (دوفازی)		۰٫۱۰- تا ۰٫۲۰+	۰٫۵۰-	ث
تمام فولادهای زنگ‌نزن	خاک‌ها و آب‌های اسیدی در دماهای محیط	۰٫۱۰- تا ۰٫۲۰+	ث	ث
مس یا آلیاژهای مس	خاک‌ها و آب‌ها در دماهای محیط	۰٫۲۰- تا ۰٫۰۰	۰٫۲۰-	—
سرب		۰٫۵۰- تا ۰٫۴۰-	۰٫۶۵-	۰٫۹۵-
آلیاژهای آلومینیم [ج]		۰٫۷۰- تا ۰٫۵۰-	۰٫۸۰-	۱٫۱۵- [ج]
فولاد گالوانیزه		۱٫۱۰- تا ۰٫۹۰-	۱٫۲۰-	—
در طول عمر سازه، هرگونه تغییر احتمالی مقاومت ویژهٔ محیط اطراف سازه باید در نظر گرفته شود.				
یادآوری- تمام پتانسیل‌ها بدون IR هستند، و نسبت به الکترود مرجع مس/سولفات مس سنجیده می‌شوند، $E_{Cu} = E_H - 0{,}32$ V.				

[الف] برای جلوگیری از تردی هیدروژنی در فولادهای غیر آلیاژی با استحکام بالا و فولادهای کم‌آلیاژ با استحکام تسلیم طراحی‌شده بیش از ۵۵۰ $N.mm^{-2}$، پتانسیل بحرانی حدی باید به‌صورت تجربی، مستند یا تعیین شود.

[ب] برای دماهای ۴۰ °C ≤ T ≤ ۶۰ °C، پتانسیل حفاظتی را می‌توان به‌صورت خطی بین مقدار پتانسیل تعیین‌شده برای ۴۰ °C (۰٫۶۵ V-، ۰٫۷۵ V-، ۰٫۸۵ V-) یا ۰٫۹۵ V-) و مقدار پتانسیل برای ۶۰ °C (۰٫۹۵ V-) درون‌یابی کرد.

[پ] خطر ترک‌خوردن تنشی در pH بالا، با افزایش دما افزایش می‌یابد.

[ت] در صورت وجود هریک از فازهای مارتنزیتی یا فریتی (برای مثال، به‌دلیل سخت‌شدن)، توصیه می‌شود که خطر تردی هیدروژنی با مستندسازی یا به‌صورت تجربی تعیین شود.

[ث] باید با مستندسازی یا به‌صورت تجربی تعیین شود.

[ج] این مقادیر فقط برای آلیاژهای آلومینیم بدون فلز روی و مس (مانند آلیاژهای AlMgSi) معتبر هستند. برای سایر آلیاژهای آلومینیوم، پتانسیل حفاظتی ممکن است متفاوت باشد.

[چ] خطر خوردگی وجود دارد، زیرا قلیایی‌بودن ناشی از حفاظت کاتدی، لایه غیرفعال را حل می‌کند.

پوشش‌های حفاظتی تحت تأثیر حفاظت کاتدی ممکن است آسیب دیده یا دچار جدایش شوند. توصیه می‌شود که سازه‌های پوشش‌شده، به‌صورت کاتدی فراتر از ۱٫۲ V- (الکترود مرجع $Cu/CuSO_4$) (بدون IR) پلاریزه نشوند.

برای فولادهایی با حداقل استحکام تسلیم مشخص‌شده بیشتر از ۵۵۰ MPa و برای آلیاژهای مقاوم به خوردگی مانند فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی و دوفازی، پتانسیل بحرانی حدی باید باتوجه به اثرات زیان‌آور در ماده، ناشی از تشکیل هیدروژن در سطح فلز، تعیین شود.

یادآوری- به‌طور کلی، برای فولادهای زنگ‌نزن و سایر آلیاژهای مقاوم به خوردگی می‌توان بدون پلاریزه‌کردن تا ۸۵۰ mV- (الکترود مرجع $Cu/CuSO_4$)، به نرخ خوردگی نسبتا پایین[1] رسید. گریدهای خاص فولاد زنگ‌نزن ممکن است با پلاریزه‌شدن تا ۸۵۰ mV- (الکترود مرجع $Cu/CuSO_4$) آسیب ببینند. برای گریدهایی از آلیاژهای مقاوم به خوردگی که مستعد آسیب پلاریزه‌شدن بیش از حد (برای مثال، ناشی از H_2 یا OH^-) نیستند، پلاریزه کردن آن‌ها تا پتانسیل حفاظتی تعریف‌شده برای فولاد کربنی، عموما قابل پذیرش است.

۶-۲-۲ روش‌های جایگزین

۶-۲-۲-۱ جابجایی ۱۰۰ mV پتانسیل کاتدی

اگر معیارهای تعریف‌شده در جدول ۱ قابل دستیابی نباشد، جابجایی ۱۰۰ mV حفاظت کاتدی به‌عنوان روش جایگزین قابل پذیرش برای کاهش نرخ خوردگی در نظر گرفته می‌شود (به NACE No. 35108 [3] مراجعه شود). در این روش، ممکن است نرخ خوردگی پسماند کمتر از ۰٫۰۱ mm/year، به‌دست نیاید.

یادآوری- پیوست آگاهی‌دهندهٔ **ب**، راهنمای اندازه‌گیری شکل‌گیری یا واپاشی[2] جابجایی پتانسیل را ارائه می‌دهد.

در خاک‌های حاوی باکتری کاهنده سولفات یا هنگامی‌که جریان‌های تداخلی، جریان‌های یکسان‌ساز[3] یا جریان‌های زمین[4] ممکن است وجود داشته باشند، از اعمال جابجایی پتانسیل ۱۰۰ mV در دماهای عملیاتی بالاتر از ۴۰ °C پرهیز شود. علاوه بر این، روش جابجایی پتانسیل نباید در مورد خطوط لوله متصل به اجزای مخلوط فلزی یا متشکل از این اجزا، استفاده شود.

۶-۲-۲-۲ سایر روش‌ها

به شرطی‌که بتوان ثابت کرد که کنترل خوردگی حاصل می‌شود، ممکن است از روش‌های جایگزین استفاده شود.

یادآوری- استفاده از پراب خوردگی یا ER، روشی جایگزین است؛ که می‌توان از آن استفاده کرد.

1- Tolerably low
2- Decay
3- Equalizing currents
4- Telluric currents

۶-۳ معیارها درصورت وجود AC

در مکان‌هایی که مشکوک به تداخل AC است، برای ارزیابی سطح تداخل AC، باید اندازه‌گیری ولتاژ و چگالی جریان AC انجام شود.

درصورت وجود ولتاژ AC روی سازه، پتانسیل‌های حفاظتی تعریف‌شده در جدول ۱ باید به‌عنوان حداقل حفظ شوند.

برای خطوط لوله، استاندارد ISO 18086 راهنماهایی را برای احتمال خوردگیِ AC و معیارهایی دقیق را برای رعایت، تعریف می‌کند.

۷ پیش‌نیازهای اعمال حفاظت کاتدی

۷-۱ کلیات

اِعمال موثر حفاظت کاتدی به اندازه و شکل سازه، اثربخشی هر پوشش، خورندگی محیط اطراف (مانند خاک، آب)، تداخل AC یا DC، الزامات خاص در استانداردهای ملی/بین‌المللی مربوط و همچنین به معیارهای فنی و اقتصادی بستگی دارد.

برای دستیابی به حفاظت کاتدی، شرایط زیر باید رعایت شوند.

۷-۲ پیوستگی الکتریکی

سازه یا قسمتی از کل سازه مورد حفاظت، باید از نظر الکتریکی پیوسته باشد. برای تایید اینکه پیوستگی مورد نظر حاصل شده است، می‌توان آزمون پیوستگی را انجام داد.

مقاومت سازه مورد حفاظت، ممکن است بر طراحی سامانه حفاظت کاتدی اثر گذارد. به‌طور کلی، کاهش مقاومت الکتریکی سازه، برای یکنواختی توزیع جریان مفید است. برای خط لوله یا سامانه لوله‌کشی، کاهش مقاومت طولی لوله و جوش‌های مربوط، باعث می‌شود سامانه حفاظت کاتدی کارآمدتر شود. توصیه می‌شود که اجزایی (مانند فلنج‌ها یا افزاینده‌ها[1]) که ممکن است مقاومت طولی سازه را افزایش دهند، دارای اتصال‌های فلزی با مقاومت کم باشند.

توصیه می‌شود که مقاومت اتصال‌های الکتریکی کم باشد، تا از افت ولتاژ در سازه جلوگیری شود. اتصال‌ها را می‌توان با استفاده از هادی‌های فلزی مانند کابل‌های الکتریکی طبق زیربند ۹-۱۱ یا اتصال‌های سازه‌ای، ایجاد کرد.

اگر قرار است حفاظت کاتدی روی سازه‌های طولی غیرجوشی (مانند شمع‌کوبی ورق فولادی) اعمال شود، پیوستگی الکتریکی سازه‌های طولی باید تضمین شود. توصیه می‌شود که آزمون‌های پیوستگی الکتریکی سازه انجام شوند. در صورت لزوم یا در صورت پیش‌بینی مشکلات در طول عمر عملیاتی سازه، اتصال‌های الکتریکی دائمی (یا جوشکاری اضافی) باید انجام شوند.

1- Expanders

۷-۳ جداسازی الکتریکی

در صورت امکان، توصیه می‌شود که سازه مورد حفاظت، از هرگونه سازه بیگانه که تأثیری نامطلوب بر اثربخشی حفاظت کاتدی دارد (برای مثال، سامانه مسی اتصال به زمین، میلگرد در بتن، لوله‌کشی بیگانه)، جدا شود. این امر به‌ویژه هنگامی‌که سازه مورد حفاظت پوشش شده باشد، مهم است.

اگر سازه مورد حفاظت را نتوان از نظر الکتریکی از هر سازه بیگانه جداسازی کرد، دراینصورت باید سامانه حفاظت کاتدی، به‌اندازه کافی طراحی شود؛ و سازه به‌عنوان سازه‌ای پیچیده در نظر گرفته شود (به استاندارد EN 14505 مراجعه شود).

اگر سازه نیاز به اتصال به زمین داشته باشد، این مورد را می‌توان با نصب دستگاه‌های جداساز DC، با حفاظت کاتدی سازگار کرد؛ برای این منظور، این دستگاه‌ها باید به‌طور مناسب مشخص و رده‌بندی شوند. در صورت استفاده از مدار اتصال زمین ایمنی، جداسازی باید طبق استانداردهای ملی/بین‌المللی الکتریکی باشد.

سامانه‌های الکتریکی اتصال به زمین ممکن است با سامانه‌های حفاظت کاتدی برهم‌کنش داشته و جریان را از آن‌ها تخلیه کنند. بسته به استانداردهای ملی/بین‌المللی مربوط، از تکنیک‌های زیر می‌توان برای محدودکردن تخلیه در یک سامانه حفاظت کاتدی استفاده کرد:

الف- سازه حفاظت‌شده را از اتصال به زمین و از هر یک از اقلامی که به‌طور الکتریکی به سامانه اتصال زمین متصل شده است، جداسازی کنید؛

ب- اطمینان حاصل کنید که به‌وسیله جداسازی، ایمنی الکتریکی برای تجهیزات متصل به سامانه حفاظت کاتدی حاصل می‌شود (برای مثال، رده‌های II یا III مطابق با استاندارد EN 61140)؛

پ- اقلامی که در تماس الکتریکی با سازه قرار دارند را از طریق قطع‌کنندهٔ جریان خطا[1]، اتصال به زمین کنید؛

ت- تجهیزاتی را که در تماس با سامانه حفاظت کاتدی هستند، از طریق یک مبدل جداساز ردهٔ II یا III، مطابق با استاندارد EN 61140، جداسازی کنید؛

ث- تجهیزاتی که در تماس با سازه حفاظت‌شده قرار دارند را از طریق دستگاه جداساز DC (بین تجهیزات الکتریکی و سامانه عمومی اتصال به زمین)، اتصال به زمین کنید.

توصیه می‌شود که محل اتصال‌های عایقی، به‌ویژه در مورد جریان سرگردان DC، به‌دقت در نظر گرفته شوند. این موضوع، مستلزم اندازه‌گیری‌های دقیق و تحلیل گرادیان‌های سطحی پتانسیل خاک است (به استاندارد EN 50162 مراجعه شود).

حفاظت درمقابل پتانسیل‌های گامی و تماسی، در استاندارد EN 50443 [3] ارائه شده است.

1- Fault current breaker

۷-۴ پوشش بیرونی

توصیه می‌شود که سازه‌های مورد حفاظت، همراه با پوشش سدگر[1] ارائه شوند؛ که به‌منظور برآورده‌سازی الزامات عملیاتی سازه و سازگاری با حفاظت کاتدی، انتخاب می‌شود.

پوشش سدگر باید مطابق با استانداردهای راهنما یا در صورت وجود، توصیه‌های قابل کاربرد از تولیدکنندگان پوشش، اعمال شود.

پوشش سدگر، تقاضای جریان حفاظتی (I_p) را کاهش و درنتیجه توزیع جریان را بهبود، ناحیه حفاظت‌شده را گسترش و احتمال تداخل با سایر سازه‌های بیگانه را کاهش می‌دهد.

۸ داده‌های مفید و ملاحظات طراحی

۸-۱ کلیات

طراحی موثر سامانه‌های حفاظت کاتدی به‌شدت به اطلاعات صحیح در مورد سازه پیشنهادی برای حفاظت بستگی دارد. اطلاعات مربوط به جزئیات سازه، شرایط سرویس و طول عمر طراحی، ضروری است. برای طراحی، توصیه می‌شود که سخت‌ترین شرایط سرویس در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود که قبل از تهیه طراحی حفاظت کاتدی سازه، پیمایش محل انجام شود. توصیه می‌شود که اطلاعات حاصل از پیمایش‌های قبلی محل که مرتبط با سازهٔ مطرح‌شده است، برای طراحی استفاده شود.

توصیه می‌شود که اطلاعات طراحی به‌دست‌آمده، در یک گزارش جمع‌آوری شود.

۸-۲ جزئیات سازه

اطلاعات جزئیات سازه ممکن است شامل موارد زیر باشد:

— اجزا یا بخش‌های سازه،

— ابعاد و مشخصه‌های اصلی،

— اطلاعات توپوگرافی،

— جزئیات مواد،

— مکان (برای مثال، مختصات جغرافیایی)،

— محیط و سیال[2]،

— جزئیات پوشش،

— جزئیات نصب و ساخت،

— سامانه اتصال به زمین مرتبط (برای مثال، حفاظت درمقابل صاعقه).

1- Barrier
2- Medium

مساحت سطح سازه باید با محاسبه از نقشه‌های ابعادی یا با توصیه سازنده سازه، مشخص شود.

۸-۳ شرایط سرویس

توصیه می‌شود که برای شرایط سرویس، اطلاعات زیر در نظر گرفته شود:

— جزئیات سیالی که قرار است حمل و نقل یا ذخیره شود،

— شرایط عملیاتی سازه (برای مثال، دمای عملیاتی)،

— طول عمر طراحی لازم برای سامانه حفاظت کاتدی،

— سال ساخت (برای سازه موجود)،

— جزئیات سازه‌های مدفون یا غوطه‌ور مجاور،

— شرایط محیطی،

— فراهمی منابع تغذیه،

— سامانه حفاظت کاتدی موجود،

— تداخل جریان سرگردان DC،

— تداخل AC،

— تاریخچه حفاظت از خوردگی یا حفاظت کاتدی (برای سازه موجود).

۹ طراحی

۹-۱ کلیات

برای اجرای سامانه حفاظت کاتدی روی سازه فلزی، داشتن اطلاعات دقیق از این سازه و محیط آن ضروری است. دانستن محدوده الکتریکی سازه و اتصال‌های آن به سایر سازه‌های فلزی (در صورت وجود)، ضروری است.

به‌منظور تعیین الزامات جریان حفاظت کاتدی و همچنین مکان‌های احتمالی آند در سازه‌های جدید، وجود جزئیات مورد نیاز است. اطلاعات کلیدی در مورد سازه شامل موارد زیر است:

— شکل و اندازه،

— مواد،

— نوع پوشش (در صورت وجود) و معیارهای اِعمال،

— جزئیات اتصال‌ها با سایر سازه‌ها (برای مثال، متصل‌شده از طریق عایق الکتریکی)،

— فواصل سرویس (برای سازه‌هایی که به‌طور معمول بازرسی می‌شوند)،

— طبقه‌بندی مناطق خطرناک (درصورت اجرا در منطقه خطرناک، به استاندارد EN 60079-10-1 مراجعه شود).

۹-۲ طول عمر طراحی

توصیه می‌شود که مالک سازه طول عمر طراحی را برای سامانه حفاظت کاتدی تعریف کند. طول عمر طراحی ممکن است بر انتخاب مواد حفاظت کاتدی و نوع حفاظت کاتدی که باید اعمال شود (برای مثال، جریان اِعمالی و/یا آند گالوانی)، اثر گذارد.

طول عمر طراحی بر طراحی حفاظت کاتدی (عمدتا از نظر مواد آند، اندازه آند، و ضرایب گسیختگی پوشش) و همچنین در تعیین نرخ‌های خوردگی قابل پذیرش، اثر می‌گذارد. ممکن است بدون تغییرات سازه‌ای عمده در خود سازه یا انواع مختلف تجهیزات متصل به آن، همیشه نتوان به حفاظت کاتدی کاملا مؤثر دست یافت. در برخی موارد خاص، یک سامانه حفاظت کاتدیِ تاحدی موثر، که مقدار خوردگی را به میزانی قابل توجه کاهش می‌دهد، ممکن است توافقی قابل پذیرش باشد.

۹-۳ سازه‌های مجاور و منابع الکتریکی بیرونی

سازه مورد حفاظت ممکن است در کنار سایر سازه‌های فلزی، با حفاظت کاتدی یا بدون آن، در مجاورت منابع DC یا AC قرار گیرد. این سازه‌های مجاور و منابع الکتریکی بیرونی می‌توانند بر حفاظت کاتدی اعمال‌شده به سازه موردنظر اثر گذارند.

برعکس، حفاظت کاتدی اعمال‌شده می‌تواند تأثیری مخرب بر سازه‌های مجاور داشته باشد؛ اگر آن‌ها در ناحیه تداخل بسترهای آندی یا خود سازه باشند.

در مرحله طراحی، اطلاعات مربوط به تمام سازه‌های مدفون یا غوطه‌ور در مجاورت سازه مورد حفاظت و همچنین نزدیک به بسترهای آندی پیشنهادی، باید در نظر گرفته شود.

۹-۴ پیوستگی/عدم پیوستگی الکتریکی

اگر قرار است سازه با یک منبع منفرد حفاظت کاتدی حفاظت شود، باید از نظر الکتریکی پیوسته باشد. اگر سازه از نظر الکتریکی پیوسته نباشد، دراین‌صورت اتصال‌های الکتریکی لازم است تا یک سامانه منفرد حفاظت کاتدی بتواند از سازه حفاظت کند.

ناپیوستگی‌های الکتریکی را می‌توان به‌صورت آگاهانه روی سازه ایجاد کرد؛ تا از اتصال‌های الکتریکی ناخواسته با سایر سازه‌ها جلوگیری شود یا اثرات تداخل‌های الکتریکی AC و/یا DC غیر قابل پذیرش، کاهش یابد. ناپیوستگی آگاهانه را می‌توان با استفاده از دستگاه‌های جداساز، مانند کیت‌های فلنج عایقی، اتصال‌های یکپارچه عایقی یا مقاطع نارسانای سازه، به‌دست آورد.

توصیه می‌شود که از اتصال‌های مستقیم با سامانه‌های اتصال به زمین پرهیز شود. اگر این شرط برآورده نشود، این وضعیت باید در طراحی در نظر گرفته شود؛ تا بتواند معیارهای این استاندارد را برآورده کند. درصورتی‌که این امر امکان‌پذیر نباشد، معیارهای تعریف‌شده در استاندارد EN 14505 باید به‌کار رود.

۹-۵ پوشش‌های حفاظتی

اگرچه پوشش‌های آلی به‌طور کامل درمقابل اکسیژن و آب نفوذناپذیر نیستند، هنگامی‌که روی سطح فلز اعمال می‌شوند، نرخ خوردگی را به مقداری قابل توجه کاهش می‌دهند.

اگر حفاظت کاتدی روی یک سطح پوشش‌شده اعمال شود، پوشش به‌عنوان یک سدگر مقاومتی اساسی درمقابل جاری‌شدن جریان عمل می‌کند و جریان به‌سمت رخنه‌ها جاری می‌شود. از نظر حفاظت کاتدی، اثر پوشش‌ها، کاهش سطح فلزِ نمایان[1] و درنتیجه کاهش جریان کلی لازم برای حفاظت و بهبود توزیع جریان است.

جزئیات مشخصه‌ها و کیفیت پوشش قبل و بعد از نصب سازه، میانگین مقاومت پوشش یا میانگین مقاومت سازه به خاک، ضریب گسیختگی پوشش یا الزامات جریان حفاظتی، باید در نظر گرفته شوند.

توصیه‌هایی در مورد پوشش برای هر کاربرد عملی، در استانداردهای مربوط ارائه شده است.

در صورت استفاده از پوشش‌های فلزی، طراحی حفاظت کاتدی باید بر اساس چگالی جریان مورد نیاز فلز پوشش باشد.

۹-۶ تقاضای جریان

جریان لازم برای دستیابی به معیار حفاظت، باتوجه به ماهیت فلز مورد حفاظت و شرایط محیطی حاکم، متفاوت است.

تقاضای جریان (I) را می‌توان با آزمون درجا[2] (در صورت امکان) به‌وسیله تجهیزات حفاظت کاتدی موقت، با استفاده از محاسبات یا براساس تجربه اپراتور سازه برای پیکربندی‌های مشابه تعیین کرد.

توصیه می‌شود که ارزیابی با استفاده از محاسبات تقاضای جریانِ لازم برای حفاظت کاتدی، باتوجه به مبنای زیر انجام شود:

— مساحت کل (S) سطح بیرونی سازه درتماس با محیط،

— چگالی جریان (j) برای فلز بدون پوشش،

— ضریب گسیختگی پوشش (f_c)، در صورت وجود پوشش.

علاوه بر این، برای در نظرگرفتن عدم قطعیت‌هایی مانند اثرات ناشی از تضعیف جریان یا سپرشدن، ضریب پیش‌آیندیِ k ($k > ۱$) را می‌توان معرفی کرد.

کل تقاضای جریان (I_{tot})، با استفاده از فرمول ۳ محاسبه می‌شود:

$$I_{tot} = S \times k \times j \times f_c \qquad (۳)$$

که در آن:

1- Exposed
2- In situ testing

S برحسب m^2؛

j برحسب mA/m^2؛

k و f_c بدون واحد است.

توصیه می‌شود که انتخاب این پارامترها (j، k و f_c)، توجیه و مستند شود.

چگالی‌های جریان طراحی معمول برای سازه‌های فولادی یا چدنیِ بدون پوشش، در گستره ۱۰ mA/m^2 تا ۱ A/m^2 هستند؛ و عمدتا به نرخ نفوذ اکسیژن در سطح فلز و مقاومت ویژه الکترولیت برای دستیابی به معیارهای حفاظت کاتدی، بستگی دارند.

تقاضای جریان یک سازه پوشش‌شده، با گذشت زمان همراه با تخریب پوشش افزایش می‌یابد. به‌منظور حفظ حفاظت همراه با تخریب پوشش، توصیه می‌شود که ظرفیت حفاظت کاتدی کافی تامین شود.

ضریب گسیختگی نهایی پوشش (f_f) با استفاده از فرمول ۴ ارائه می‌شود:

$$f_f = f_i + (\Delta f \times t_{dl}) \quad (۴)$$

که در آن:

f_i ضریب گسیختگی اولیه پوشش در شروع عملیات سازه است؛

Δf میانگین افزایش سالانه در ضریب گسیختگی پوشش است، که برحسب $year^{-1}$ بیان می‌شود؛

t_{dl} طول عمر طراحی است که بر حسب year بیان می‌شود.

توصیه‌هایی در مورد چگالی جریان و ضرایب گسیختگی پوشش برای کاربردهای عملی در استانداردها، کتاب‌های مرجع و راهنماهای صنعتی مربوط موجود است.

۹-۷ سامانه‌های آند گالوانی

۹-۷-۱ ملاحظات عمومی

سامانه حفاظت کاتدی با استفاده از آندهای گالوانی شامل یک یا چند آند گالوانی و یک اتصال الکتریکی به سازه است. آندها و سازه، در یک الکترولیت مشترک نصب می‌شوند. پتانسیل آندها باید منفی‌تر از پتانسیل حفاظتی سازه مورد حفاظت باشد.

در این شرایط، یک ولتاژ محرکه وجود دارد؛ که جریان حفاظت کاتدی را ایجاد می‌کند، که از میان الکترولیت به‌سمت سازه جاری می‌شود.

جریان موثر ارسال‌شده به‌وسیله آندهای گالوانی، به ولتاژ محرکه آند و مقاومت بین آندها و سازه (کاتد) بستگی دارد.

۹-۷-۲ استفاده از سامانه‌های آند گالوانی

سامانه‌های آند گالوانی معمولا برای تامین حفاظت کاتدی در سازه‌هایی استفاده می‌شوند، که در آن‌ها تقاضای جریان پایینی وجود دارد (برای مثال، سازه کوچک بدون پوشش یا سازه بزرگ با پوشش خوب). این سامانه‌ها هنگامی‌که در الکترولیت با مقاومت ویژه کم نصب می‌شوند، می‌توانند جریان حفاظت کاتدی قابل توجهی را تحویل دهند.

سامانه‌های آند گالوانی همچنین می‌توانند برای سازه‌هایی بدون پوشش یا با پوشش ضعیف استفاده شوند؛ که در آن‌ها، فقط حفاظت از برخی از بخش‌ها یا عناصر خاص (مانند شیرها، گذرگاه‌ها، جداره‌های[1] کوتاه و غیره) لازم است.

سامانه‌های آند گالوانی همچنین در مواردی‌که منبع تغذیه بیرونی دردسترس نیست (برای آندهای جریان اِعمالی) یا مواردی‌که خطر سطوح غیرقابل پذیرش تداخل در سازه‌های مجاور وجود دارد، مناسب هستند.

آندهای گالوانی با ولتاژ محرکه کمتر (معمولا فلز روی) نیز می‌توانند در مواردی‌که خطر حفاظت بیش از حد منجر به آزادشدن هیدروژن وجود دارد، استفاده شوند.

آندهای گالوانی همچنین ممکن است همراه با یک ایستگاه جریان اِعمالی، در نواحی که سطح ناکافی حفاظت کاتدی در نظر گرفته شده است، استفاده شوند.

۹-۷-۳ طراحی سامانه آند گالوانی

سامانه‌های آند گالوانی باید طوری طراحی شوند که اطمینان حاصل شود که جریان موثر حفاظت کاتدی برای کل عمر طراحی، برای سازه تامین می‌شود. طراحی باید تأثیر مصرف آندها بر عملکرد را در طول عمر سامانه در نظر بگیرد. این تغییر عمدتا ناشی از تغییر هندسه و جرم آند به‌دلیل مصرف است، که باعث افزایش مقاومت آند به الکترولیت و درنتیجه کاهش جریان موجود می‌شود.

در مواردی‌که ثابت شده که جایگزینی آندها در طول عمر سازه عملی است، طراحی می‌تواند براساس جایگزینی دوره‌ای آندها در طول عمر سازه باشد.

برای انجام طراحی، اطلاعات زیر لازم است:

— اندازه، شکل و وسعت سازه،

— مشخصات پوشش و رویه‌های اعمال، طوری‌که کیفیت پوشش و گسیختگی احتمالی پوشش را بتوان تخمین زد.

— مقاومت ویژه الکترولیت در مکان‌های کلیدی،

— اطلاعات محل طوری‌که بتوان محل آندها را برنامه‌ریزی کرد،

— عمر طراحی لازم (یا بازه سرویس).

1- Casings

با این اطلاعات، توصیه می‌شود که مراحل زیر اجرا شوند:

— تعیین مساحت سطح سازه،

— برآورد مساحت سطح بدون پوشش سازه در پایان عمر (یا در هر بازه سرویس/دوره تعویض آند)،

— تعیین کل جریان مورد نیاز براساس چگالی جریان لازم برای فلز بدون پوشش،

— طراحی یک سامانه آند، شامل انتخاب نوع، شکل و اندازه آند و دورآکند آن،

— تعیین مقاومت آند به الکترولیت با استفاده از فرمول‌های کتاب‌های مرجع و راهنماها (برای مثال، به مرجع [۴] کتاب‌نامه مراجعه شود)،

— تعیین مقاومت سازه به الکترولیت (اگر در مقایسه با مقاومت آند به الکترولیت ناچیز نباشد)،

— تعیین ولتاژ محرکه،

— تعیین جریانی که آند قادر به تحویل آن خواهد بود،

— شناسایی مکان‌های آند برای توزیع جریان در کل سازه،

— تایید اینکه مکان‌ها و مقادیر آند پیشنهادی، می‌توانند جریان مورد نیاز را تحویل دهند،

— تعیین عمر نظری آند براساس جرم آند، جریان تحویلی و ظرفیت آلیاژ آند با در نظرگرفتن کارایی آن.

رویکردهای طراحی جایگزین، از چگالی جریان حفاظت کاتدی برای کل سطح سازه به‌جای فولاد بدون پوشش استفاده می‌کنند. در این‌صورت، مراحل محاسبه یکسان است؛ ولی ممکن است نیاز واقعی جریان متفاوت باشد.

۹-۷-۴ ملاحظات فنی و داده‌ها برای طراحی سامانه حفاظت گالوانی

۹-۷-۴-۱ مواد آند گالوانی

مواد آند مورد استفاده در حفاظت کاتدی سازه‌های مدفون یا غوطه‌ور در خاک یا آب شیرین، توصیه می‌شود که دارای خواص الکتروشیمیایی زیر باشند:

— ولتاژ محرکه کافی برای تحویل تقاضای خروجی جریان،

— حساسیت کم به تشکیل ترکیبات یا فیلم‌های نامحلول و جداساز روی سطح آن، که می‌تواند جریان خروجی را محدود یا از آن جلوگیری کند.

هر چه مقدار خود-خوردگی[1] آند کمتر باشد، بازده الکتروشیمیایی آن بیشتر است.

1- Self-corrosion

مواد آندی مانند منیزیم و آلومینیم معمولا از فلز خالص ساخته نمی‌شوند، بلکه از آلیاژ ساخته می‌شوند. در این مورد، آلیاژها ساختار متالوگرافی همگن خوبی را ارائه می‌دهند؛ که انحلال یکنواخت و مشخصه‌های الکتروشیمیایی بهینه را امکان‌پذیر می‌سازد.

در خاک‌ها و آب‌های شیرین، برای سازه‌های ساخته‌شده از فولادهای کربنی یا فولادهای کم‌آلیاژ، آندهای گالوانی ممکن است برپایه فلز روی یا منیزیم باشند. برای سازه‌های ساخته‌شده از مس، فولادهای زنگ‌نزن یا آلیاژهای نیکل، آندها را می‌توان از آهن نیز ساخت.

یادآوری ۱- آندهای آلومینیم را فقط می‌توان در آب‌های حاوی کلرید (معمولا بیش از 5 g/L) و با مقاومت ویژه کم (معمولا کمتر از 2 Ω.m)، استفاده کرد.

آندهای روی منطبق بر جدول ۲ و آندهای منیزیم منطبق بر جدول ۴، مطابق با استاندارد EN 12496 تعریف می‌شوند. جدول ۳، مشخصه‌های الکتروشیمیایی معمول برای آندهای روی را نشان می‌دهد. جدول ۵، مشخصه‌های الکتروشیمیایی معمول برای آندهای منیزیم را نشان می‌دهد.

یادآوری ۲- استاندارد EN 12496، ترکیبات معمول آندهای روی و منیزیم را تعریف می‌کند. همچنین، الزامات تولید و بازرسی را نیز ارائه می‌دهد.

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی معمول آلیاژهای مورد استفاده برای آندهای روی

عناصر	آلیاژ Z1 [الف]	آلیاژ Z2 [ب]	آلیاژ Z3
	٪ جرمی	٪ جرمی	٪ جرمی
Al	۰٫۱ تا ۰٫۵	حداکثر ۰٫۰۰۵	۰٫۱۰ تا ۰٫۲۰
Cd	۰٫۰۲۵ تا ۰٫۰۷	حداکثر ۰٫۰۰۳	۰٫۰۴ تا ۰٫۰۶
Fe	حداکثر ۰٫۰۰۵	حداکثر ۰٫۰۰۱۴	حداکثر ۰٫۰۰۱۴
Cu	حداکثر ۰٫۰۰۵	حداکثر ۰٫۰۰۲	حداکثر ۰٫۰۰۵
Pb	حداکثر ۰٫۰۰۶	حداکثر ۰٫۰۰۳	حداکثر ۰٫۰۰۶
Sn	—	—	حداکثر ۰٫۰۱
Mg	—	—	حداکثر ۰٫۵
سایر عناصر	حداکثر ۰٫۱۰	حداکثر ۰٫۰۰۵	حداکثر ۰٫۱
Zn	حداقل ۹۹٫۳۱۴	حداقل ۹۹٫۹۹	باقی‌مانده

[الف] آلیاژ Z1 معمولا مطابق با US.MIL-A-18001 -K-93 [6] یا نوع I استاندارد ASTM B418-12 [7] عرضه می‌شود.
[ب] آلیاژ Z2 اغلب «روی با خلوص بالا» نامیده می‌شود، و معمولا مطابق با نوع II استاندارد ASTM B418-12 [7] عرضه می‌شود.

جدول ۳- پارامترهای الکتروشیمیایی معمول برای آندهای روی مورد استفاده در خاک

پارامتر	آند روی
پتانسیل مدار باز (V درمقابل $Cu/CuSO_4$ اشباع)	۱٫۰۵ تا ۱٫۱۰-
پتانسیل مدار بسته (V درمقابل $Cu/CuSO_4$ اشباع)	۱٫۰۰- تا ۱٫۰۵-
ظرفیت عملی الکتروشیمیایی (A.h/kg)	۷۸۰
نرخ عملی مصرف (kg/A.year)	۱۱٫۲

آندهای برپایهٔ فلز روی، دارای ولتاژ محرکه پایین (حدود ۱۵۰ mV تا ۲۵۰ mV) به‌سمت فولاد هستند. آن‌ها را می‌توان در خاک‌ها و آب‌هایی با مقاومت ویژه معمول تا ۵۰ Ω.m استفاده کرد. هنگام نصب در خاک، آندهای روی باید همراه با دورآکند آند استفاده شوند؛ به‌جز هنگامی‌که خاک حاوی کلرید یا سولفات باشد.

یادآوری ۳- در محیط‌هایی که کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها یا نیترات‌ها غالب هستند، پتانسیل فلز روی به‌دلیل وجود فیلم‌های سطحیِ غیرفعال‌کننده، بسیار نجیب[1] می‌شود. این اثر ممکن است کارایی آند روی را کاهش دهد. اگر الکترولیت حاوی سولفات یا کلرید باشد، این پدیده ظاهر نمی‌شود.

جدول ۴- ترکیبات شیمیایی معمول آلیاژهای مورد استفاده برای آندهای منیزیم

عناصر	آلیاژ M1 [الف]	آلیاژ M2
	٪ جرمی	٪ جرمی
Mn	حداقل ۰٫۲۵	۰٫۵ تا ۱٫۵
Al	۵ تا ۷	حداکثر ۰٫۰۵
Zn	۲ تا ۴	حداکثر ۰٫۰۳
Fe	حداکثر ۰٫۰۰۵	حداکثر ۰٫۰۳
Cu	حداکثر ۰٫۰۸	حداکثر ۰٫۰۲
Si	حداکثر ۰٫۳	حداکثر ۰٫۰۵
Pb	حداکثر ۰٫۰۳	حداکثر ۰٫۰۱
Ni	حداکثر ۰٫۰۰۳	حداکثر ۰٫۰۰۲
مجموع سایر عناصر	حداکثر ۰٫۳۰	حداکثر ۰٫۳۰
Mg	باقی‌مانده	باقی‌مانده

[الف] آلیاژ M1 معمولا مطابق با استاندارد ASTM B843-09 [8] عرضه می‌شود.

1- Noble

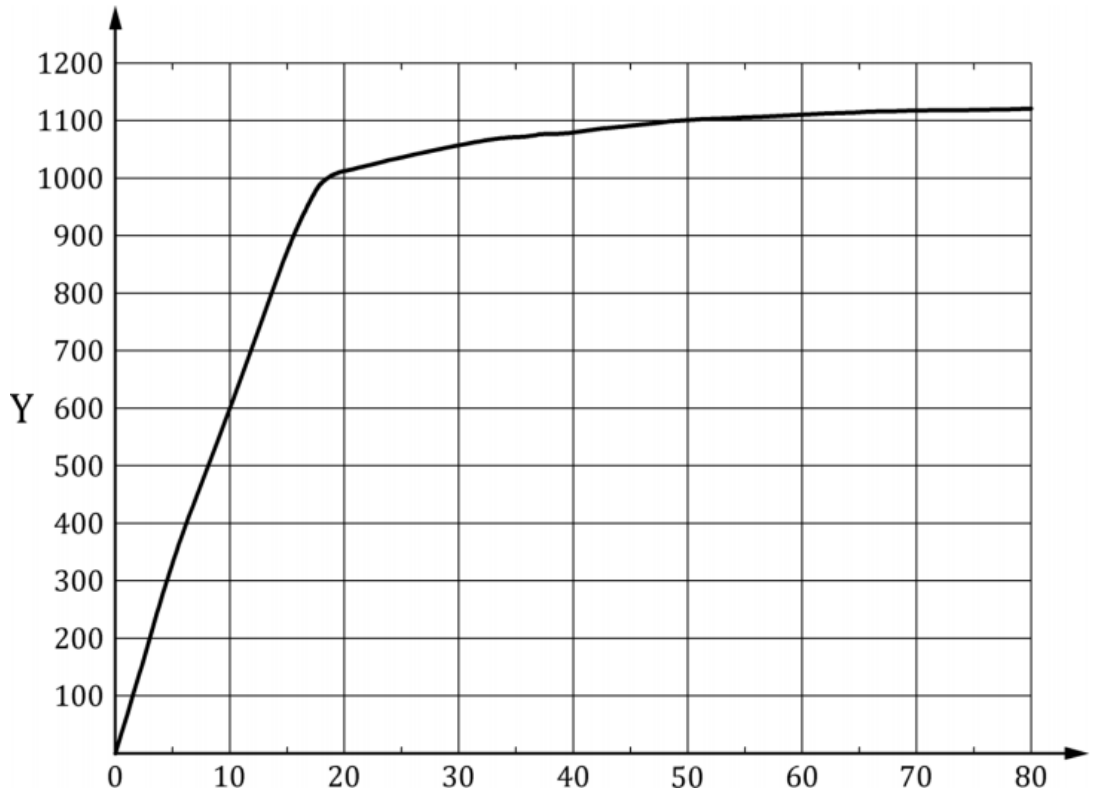
جدول ۵- پارامترهای الکتروشیمیایی معمول برای آندهای منیزیم مورد استفاده در خاک

پارامتر	آلیاژ M1 ٪ جرمی	آلیاژ M2 ٪ جرمی
پتانسیل مدار باز (V درمقابل $Cu/CuSO_4$ اشباع)	۱٫۵۷- تا ۱٫۶۰-	۱٫۷۷- تا ۱٫۸۲-
پتانسیل مدار بسته (V درمقابل $Cu/CuSO_4$ اشباع)	۱٫۵۲- تا ۱٫۵۷-	۱٫۶۴- تا ۱٫۶۹-
ظرفیت عملی الکتروشیمیایی (A.h/kg)	۱۱۰۰	۱۱۰۰
نرخ عملی مصرف (kg/A.year)	۷٫۵	۷٫۵

آندهای پایه‌منیزیم، دارای ولتاژ محرکه تا ۶۵۰ mV با فولاد هستند؛ که نسبت به روی، تحویل جریان بیشتری را امکان‌پذیر می‌کنند، و می‌توانند در مقاومت ویژه بالاترِ (معمولا ۱۰۰ Ω.m) خاک یا آب استفاده شوند. توصیه می‌شود که آندهای منیزیم هنگام نصب در خاک، همراه با دورآکند آند استفاده شوند.

اگر مواد سازه مستعد تردی هیدروژنی بوده یا پوشش سازه مستعد جدایش باشد، ولتاژ محرکهٔ بالای امکان‌پذیر با آندهای منیزیم، ممکن است این خطرات را افزایش دهد.

یادآوری ۴- اگر چگالی جریان آند کمتر از ۲۰۰ mA/m^2 باشد، بازده جریان کاهش می یابد؛ به شکل ۱ برای آلیاژ منیزیم M1 مراجعه شود.



راهنما:

X چگالی جریان ($\mu A/cm^2$)

Y ظرفیت جریان (A.h/kg)

شکل ۱- ظرفیت جریان آلیاژ منیزیم درمقابل چگالی جریان [۹]

۹-۷-۴-۲ شکل و اندازه آندهای گالوانی

مقاومت زمین یک آند عمدتا به شکل و ابعاد آن در تماس با الکترولیت بستگی دارد. طول عمر آند به مواد آندی، ماهیت فلز مورد حفاظت و جرم مربوط به آند گالوانی، بستگی دارد.

شکل آندها به‌ویژه به نوع سازه مورد حفاظت و مکان‌هایی که نصب آن‌ها ضروری و ممکن است، بستگی دارد.

برای کاربردهای خاکی (لوله‌ها یا مخازن مدفون)، آندها اغلب عناصر میله‌ای با مقطع دایره‌ای یا مستطیلی هستند؛ که به‌صورت افقی یا عمودی دفن شده‌اند. در کاربردهای آبی، آندها می‌توانند به‌شکل بلوک یا صفحاتی باشند که مستقیما روی سازه ثابت شده‌اند.

به‌طور کلی، هر چه سطح بیشتری از آند درتماس با الکترولیت باشد، مقاومت بین آند و زمین کمتر می‌شود.

۹-۷-۴-۳ مکان آند گالوانی و دورآکند آن

توصیه می‌شود که آندها دفن شوند تا به الکترولیت مرطوب با مقاومت ویژه کم برسند. هنگامی‌که چندین آند مورد نیاز است، توصیه می‌شود که به‌طور منظم روی سازه پخش شوند؛ نه اینکه در یک مکان متمرکز شوند.

عموما برای کاربردهای خاکی، آندها با یک دورآکند آندی جاذب رطوبت با مقاومت ویژه کم، احاطه می‌شوند. این دورآکند آند، به ایجاد مقاومت کم بین آند و خاک کمک می‌کند؛ و همچنین از اینکه محصولات خوردگی آند موجب افزایش مقاومت آن شوند، جلوگیری می‌کند.

برای دورآکند آند، از مواد غیرکربنی استفاده می‌شود. یک دورآکند آندی معمول برای آندهای روی و منیزیم، شامل خمیری از ٪ ۲۰ بنتونیت، ٪ ۷۵ گچ و ٪ ۵ سدیم سولفات (Na_2SO_4) است. آندهایی که مستقیما در یک کیسه گونی متخلخل پرشده با دورآکند آندیِ خشک بسته‌بندی شده‌اند، باید در مخلوط خیس‌شده خاک و آب غوطه‌ور شوند؛ تا دورآکند آند قبل از دفن مرطوب شود.

۹-۸ سامانه‌های حفاظت کاتدی جریان اِعمالی (ICCP)

۹-۸-۱ ملاحظات عمومی

برای حفاظت کاتدی سازه، بسته به پارامترهای طراحی (برای مثال، تقاضای جریان، مقاومت خاک، شکل و سطح سازه)، سامانه ICCP ممکن است کارآمدتر از آندهای گالوانی باشد.

سامانه‌های ICCP باید برای عملیات پیوسته تحت شرایط سرویس متداول، مناسب باشند.

به‌طور کلی، به‌دلایل ایمنی، استفاده از ولتاژهای خروجی یکسوکننده بالاتر از ۵۰ V DC توصیه نمی‌شود. واحدهای مبدل-یکسوکننده، با برق AC تغذیه می‌شوند.

منابع جایگزین DC را می‌توان به‌جای مبدل یکسوکننده استفاده کرد؛ برای مثال، باتری که احتمالا به‌وسیله پنل‌های خورشیدی تغذیه می‌شود.

جریان خروجی را می‌توان با موارد زیر کنترل کرد:

— ولتاژ خروجی ثابت یکسوکننده: جریان به‌وسیله مقاومت مدار، کنترل می‌شود. تغییرات در مدار بیرونی (برای مثال، جریان‌های سرگردان، تغییرات الکترولیت)، منجر به تغییر مقدار جریان اعمال‌شده به سازه می‌شود.

— کنترل پتانسیل: پتانسیل سازه به الکترولیت در یک مکان انتخابی اندازه‌گیری می‌شود و بازخورد به مدار کنترل مبدل-یکسوکننده برمی‌گردد. خروجی DC مبدل یکسوکننده به‌طور خودکار طوری تنظیم می‌شود که پتانسیل سازه به الکترولیت را در مقدار از قبل تنظیم‌شده حفظ کند. تغییرات در مدار بیرونی (مانند جریان‌های سرگردان، تغییرات الکترولیت)، منجر به تغییرات مقدار جریان حفاظت کاتدی اعمال‌شده به سازه می‌شود. علاوه بر این، یکسوکننده‌های کنترل پتانسیل را می‌توان هنگامی‌که حد پتانسیل نسبت به مقدار از قبل تنظیم‌شده فراتر رود، با حداقل مقدار جریان مجهز کرد.

— کنترل جریان: جریان تحویل‌شده به‌وسیله یکسوکننده، به‌طور خودکار به‌وسیله مقایسه با مقدار تنظیم‌شده کنترل می‌شود.

مدار اندازه‌گیری پتانسیل مورد استفاده برای تامین کنترل باید حداقل مقاومت ورودی ۱۰ MΩ داشته باشد. توصیه می‌شود که سامانه کنترل الکترونیکی، حداقل ۱۰۰ mV± تفکیک‌پذیری[1] داشته باشد؛ و دارای کنترل‌هایی برای تنظیم پتانسیل حفاظتی مورد نیاز و حد جریان و/یا هشدارهای بصری برای شرایط اضافه‌ولتاژ یا اضافه‌جریان باشد.

برای نمایش ولتاژ خروجی، جریان خروجی و/یا مقدار کنترل پتانسیل (در صورت وجود)، توصیه می‌شود که تابلوهای کنترل تامین شوند.

۹-۸-۲ بسترهای جریان اِعمالی

بسترها متشکل از یک یا چند آند جریان اِعمالی هستند. مواد آندی مورد استفاده معمول، به شرح زیر است:

— آلیاژ آهن سیلیسی[2]؛

— گرافیت؛

— مگنتیت[3]؛

— تیتانیوم پوشش‌شده با مخلوط اکسید فلزی (MMO)[4]؛

— مس پوشش‌شده با پلیمرهای رسانا؛

— فولاد.

1- Resolution
2- Silicon iron alloy
3- Magnetite
4- Mixed-metal-oxide

به‌منظور کاهش مقاومت مؤثر بسترها به الکترولیت و جلوگیری از به‌دام افتادن گازهای تولیدشده، سامانه‌های آندی عموما با دورآکندهای آند نصب می‌شوند. معمولا از مواد کربن‌دار و متخلخل با مقاومت ویژه کم استفاده می‌شود.

بسترها ممکن است کم‌عمق یا غوطه‌ور و به‌صورت افقی یا عمودی باشند. همچنین، بسترهای جریان می‌توانند به‌صورت چاه‌های عمیق ولی فقط به‌صورت عمودی نصب شوند. توصیه می‌شود که عوامل محیطی مانند ناهمگنی یا همگنی محیط، مقاومت ویژه، سطح آب زیرزمینی در خاک، تغییرات شدید فصلی، و اثرات سپرشدن، در طراحی بستر در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود که برای تعیین جرم آندی لازم برای طول عمر طراحی و مقاومت بستر به زمینِ دور، محاسبات انجام شود. اطلاعات مربوط به مقاومت به زمینِ دور، به تعیین ولتاژ خروجی DC مبدل یکسوکننده کمک می‌کند.

مطالعات برای طراحی باید با نوع و ابعاد بستر انتخاب‌شده، محاسبات (جرم آندی و مقاومت به زمینِ دور)، اتصال‌های کابل و نقشه‌ها، مستندسازی شود.

اتصال بین کابل و سر آند باید کاملا عایق باشد، تا از نفوذ رطوبت و در نتیجه آسیبِ خوردگی جلوگیری شود. ماده عایق مورد استفاده باید مقاومت بلندمدت به اثرات شیمیایی فیزیکی تولیدشده در الکترولیت داشته باشد.

توصیه می‌شود که برای بسترهای کم‌عمق با جریان بالای خروجی و برای بسترهای عمیق، تهویه تامین شود.

۹-۹ دستگاه‌های جداساز AC و DC

ممکن است به‌دلایل ایمنی، نیاز باشد که دستگاه‌های نصب‌شده روی سازه‌های حفاظت‌شده به‌صورت الکتریکی اتصال به زمین شوند؛ یا برای کاهش اثر ولتاژهای الکتریکی القایی، ممکن است اتصال به زمین نیاز باشد.

در صورت نیاز به سامانه اتصال به زمین، این سامانه باید با سامانه حفاظت کاتدی سازگار باشد. این موضوع را می‌توان با نصب دستگاه‌های جداساز DC دارای ردهٔ مناسب در مدار اتصال به زمین به‌دست آورد. معمولا راه‌حل‌هایی از قبیل اتصال‌زمین موضعی با استفاده از الکترودهای روی یا الکترودهای گالوانیزه زمین، که مستقیما به سازه‌های حفاظت‌شده متصل می‌شوند، استفاده نمی‌شوند؛ زیرا هنوز هم ممکن است اثراتی نامطلوب بعدی روی حفاظت کاتدی وجود داشته باشد.

سازه‌های حفاظت‌شده می‌توانند تحت تأثیر اضافه‌ولتاژ و ضربات جریان ناشی از صاعقه یا جریان‌های خطای فاز خطوط برق بیرونیِ مجاور، قرار گیرند.

برای کاهش اثر انواع ضربات الکتریکی[1] یا تداخل الکتریکی، می‌توان وسایل حفاظتی مانند جداساز شکاف‌های جرقه[2]، دستگاه محافظ نوسان برق (SPD) [3] یا دستگاه جداساز DC را نیز بین سازه‌های حفاظت‌شده و سامانه اتصال به زمین نصب کرد؛ به شرطی‌که با استانداردهای ملی/بین‌المللی یا استانداردهای ایمنی مربوط مغایرت نداشته باشد.

طول، مقطع و نوع کابل، تاثیر زیادی بر اثربخشی حفاظت از اضافه‌ولتاژ دارند؛ و باید با جداساز شکاف جرقه یا مشخصه‌های الکتریکی SPD مطابقت داشته باشند. هنگام طراحی دستگاه‌های حفاظتی، مقاومت/ راکتانس[4] کابل باید در نظر گرفته شود؛ و اطمینان حاصل شود که هر حلقه شکل‌گرفته حین نصب (چرخه جریانی)، تا حد امکان کوچک است.

در مورد ولتاژهای الکتریکی القایی، برای جلوگیری از معایب ناشی از پیوند الکتریکی مستقیم، سامانه‌های اتصال به زمین معمولا به‌طور مستقیم به سازه‌های حفاظت‌شده متصل نمی‌شوند؛ بلکه از طریق دستگاه‌های جداساز DC متصل می‌شوند، که هم‌زمان با مسدودکردن جریان DC، مسیری الکتریکی برای جریان AC از سازه‌های حفاظت‌شده به‌سمت زمین فراهم می‌کنند.

توصیه می‌شود که دستگاه‌های جداساز DC با شرایط عملکرد عادی سامانه حفاظت کاتدی تداخل نداشته باشند.

توصیه می‌شود که هنگام تعیین تقاضای جریان حفاظت کاتدی برای سازه‌های مورد حفاظت کاتدی، برای دستگاه‌های جداساز DC انتخاب‌شده، جریان نشتی DC در نظر گرفته شود.

هر دستگاه الکتریکی مورد استفاده در مناطق خطرناک باید مطابق با استاندارد EN 60079-10-1 باشد.

۹-۱۰ پایش

برای سازه حفاظت‌شده، مرحله طراحی باید اجرای پایش را براساس الزامات بند ۱۲ تعریف کند.

برنامه پایش و نگهداشت، شامل موارد زیر، باید اجرا شود:

— تعریف تواترهای بازرسی، بررسی‌های عملکردی و اندازه‌گیری‌های معمول،

— پیمایش‌های تخصصی (در صورت لزوم)،

— نگهداشت تجهیزات حفاظت کاتدی و پایش.

۹-۱۱ کابل

کابل‌های اتصال به سازه‌های حفاظت‌شده، آندهای جریان اِعمالی، آندهای گالوانی و ایستگاه‌های آزمون باید برای سرویس مدفون مناسب باشند. توصیه می‌شود که این کابل‌ها زره فلزی نداشته باشند. اگر از کابل

1- Electrical strikes
2- Spark gaps
3- Surge protective devices
4- Reactance

زره‌دار استفاده می‌شود، توصیه می‌شود که اقدامات احتیاطی برای جلوگیری از تداخل بین زره و اجزای سامانه حفاظت کاتدی انجام شود. برای نمایش ولتاژ خروجی، جریان خروجی و/یا مقدار کنترل پتانسیل (در صورت وجود)کابل‌های حفاظت کاتدی، به‌عنوان هادی‌های حفاظتی زمین استفاده شوند.

برای جلوگیری از خطاهای ناشی از افت ولتاژ، توصیه می‌شود که از کابل‌های مجزا از مدار اِعمال جریان، برای اندازه‌گیری پتانسیل استفاده شود.

عایق کابل باید برای محیط (برای مثال، در شرایط مدفون یا غوطه‌ور و مقاوم به کلر) و همچنین برای هدف کابل، مناسب باشد.

مقاطع کابل باید براساس موارد زیر طراحی شود:

— افت‌های ولتاژ، که از نظر فنی مطابق با طراحی قابل پذیرش باشد؛

— جریان حالت پایدار از میان مقطع کابل، مطابق با طراحی؛

— خواص عایق کابل؛

— استحکام مکانیکی؛

— انعطاف‌پذیری؛

— شرایط دمای عملیاتی؛

— شرایط محیطی یا شرایط مخصوص محل.

کابل‌های مورد استفاده برای مدار آندی باید دارای عایق الکتریکی سالم باشند. کابل‌ها باید درمقابل آسیب‌های مکانیکی حفاظت شوند. عایق آسیب‌دیده روی کابل آند می‌تواند منجر به خرابی سریع کابل شود. توصیه می‌شود که هنگام جابجایی و نصب کابل‌های آند، تمهیدات مراقبتی ویژه به‌کار برده شود.

اتصال‌های کابل حفاظت کاتدی به سازه‌ها فقط باید توسط افراد دارای صلاحیت و طبق رویه‌های مدون انجام شود.

در مواردی‌که از جوشکاری ترمیت[1] استفاده می‌شود، رویه جوشکاری باید تضمین کند که هرگونه نفوذ مس به مواد سازه، از حد مجاز برای سازه‌های حفاظت‌شده بیشتر نباشد؛ و سختی موضعی در محدوده مشخصاتِ مواد سازه باقی بماند.

سایر تکنیک‌های اتصال قابل پذیرش هستند، برای مثال:

— جوشکاری،

— لحیم‌کاری سنجاقی[2]،

1- Thermit welding

2- Pin brazing

— و اتصال‌های مکانیکی، درصورت مناسب‌بودن برای اِعمال.

۱۰ نصب سامانه‌های حفاظت کاتدی

برای سازه‌های جدید، توصیه می‌شود که نصب تجهیزات کاتدی در اسرع وقت پس از اتمام سازه انجام شود. براساس ارزیابی احتمال خوردگی (مطابق با پیوست **الف**)، درصورت درخواست مالک سازه، یک سامانه حفاظت کاتدی موقت الزامی است، که قبل از فعال‌سازی سامانه حفاظت کاتدی اصلی نصب شود.

توصیه می‌شود که قبل از شروع کار، تایید شود که تجهیزات و مصالح مورد نصب و شرایط محلی، مطابق با مشخصات و نقشه‌های طراحی است. توصیه می‌شود که آن‌ها برچسب دایمی داشته باشند، که در صورت کاربرد، هشدارهای ایمنی را نشان دهد. توصیه می‌شود که انحراف‌ها از طرح توجیه شوند. توصیه می‌شود که مشخصات طراحی، نقشه‌ها و هرگونه انحراف در مستنداتِ مطابق‌ساخت[1] گزارش شوند.

کابل‌ها باید بدون آسیب به عایق آن‌ها، نصب شوند.

توصیه می‌شود که طول کابل پیوسته باشد و از اتصال‌ها (مفصل‌ها) در کابل پرهیز شود. این موضوع، به‌ویژه برای کابل‌های برق بسیار مهم است. درصورت استفاده از اتصال‌ها در کابل، توصیه می‌شود که برای شرایط دفن دایمی یا غوطه‌وری مناسب باشند.

توصیه می‌شود که ایستگاه‌های جریان اِعمالی و ایستگاه‌های آزمون در مکان‌های امن و با دسترسی آسان، نصب شوند؛ و حاوی اطلاعاتی در مورد مالک سازه و هشدارهای ایمنی باشند.

۱۱ فرایند راه‌اندازی

۱۱-۱ کلیات

فرایند راه‌اندازی شامل مراحل زیر است:

— بررسی مقدماتی برای نشان‌دادن اینکه سامانه حفاظت کاتدی مطابق با الزامات طراحی، نصب شده است،

— راه‌اندازی سامانه حفاظت کاتدی برای نشان‌دادن اینکه سامانه حفاظت کاتدی، به‌درستی کار می‌کند،

— ارزیابی اثربخشی سامانه حفاظت کاتدی، پس از تنظیم در صورت لزوم، برای برآورده‌کردن معیارهای حفاظت کاتدی انتخاب‌شده یا جلوگیری از خطرات مربوط به حفاظت بیش از حد[2] (به زیربند ۱۱-۴ مراجعه شود).

فرایند راه‌اندازی باید منجر به یک سامانه حفاظت کاتدی کاملا کاربردی شده، که بتواند به‌عنوان مرجع برای پایش استفاده شود.

1- As-built
2- Over-protection

توصیه می‌شود که گزارش فرایند راه‌اندازی نتایج اندازه‌گیری‌ها، هرگونه تغییر ایجادشده در تجهیزات طراحی‌شده و تمام عناصر مفید برای ارزیابی بیشتر اثربخشی حفاظت کاتدی را شرح دهد.

۱۱-۲ بررسی مقدماتی

توصیه می‌شود که در صورت لزوم، موارد زیر بخشی از بررسی مقدماتی باشند:

— پیوستگی الکتریکی مدار حفاظت کاتدی،

— جداسازی الکتریکی سازه از سازه‌های بیگانه،

— ارزیابی کیفیت پوشش،

— اتصال‌های خروجی از مبدل-یکسوکننده(ها)، به‌منظور بررسی اینکه قطب(های) منفی به سازه و قطب مثبت به بستر(های) آند متصل شده‌اند،

— نصب کوپن‌ها و الکترودهای مرجع.

توصیه می‌شود که در صورت لزوم، اندازه‌گیری‌های زیر قبل از هرگونه اتصال سامانه حفاظت کاتدی انجام شوند:

— پتانسیل آزاد خوردگی (E_{cor}) سازه در تمام نقاط خوانش پتانسیل،

— مقاومت بستر(ها) به زمینِ دور،

— پتانسیل آند به الکترولیت آندهای گالوانی،

— پتانسیل سازه به الکترولیت سازه‌های بیگانه مجاور،

— تداخل AC یا DC (به استاندارد EN ISO 18086 یا EN 50162 مراجعه شود).

هنگامی‌که اندازه‌گیری‌های پتانسیل خوردگی انجام می‌شوند، تمام سامانه‌های حفاظت کاتدی موقت باید غیرفعال شوند و سازه باید دپلاریزه شود.

۱۱-۳ راه‌اندازی

وظایفی که برای راه‌اندازی باید انجام شود، باتوجه به نوع سامانه (جریان اِعمالی یا آندهای گالوانی) و اینکه دستگاه‌های تخلیه اجرا شده‌اند یا نه، متفاوت است.

توصیه می‌شود که در صورت لزوم، عملیات زیر و اندازه‌گیری‌های مرتبط انجام شوند:

۱- تمام ایستگاه(های) جریان اِعمالی را روشن یا آند(های) گالوانی را متصل کنید، و تایید کنید که آن‌ها به‌درستی کار می‌کنند،

۲- تنظیمات ایستگاه‌ها را برای رسیدن به پارامترهای طراحی الکتریکی مورد نظر، تنظیم کنید. در صورت بروز انحرافات عمده، توصیه می‌شود که علل آن‌ها مشخص شوند،

۳- ولتاژ(های) خروجی ایستگاه(های) جریان اِعمالی را اندازه‌گیری کنید،

۴- جریان تحویلی به‌وسیله منبع(های) حفاظت کاتدی را اندازه‌گیری کنید،

۵- پتانسیل وصل (ON) را در نقاط انتخاب‌شده برای خوانش پتانسیل اندازه‌گیری کنید،

۶- پتانسیل سازه به الکترولیت سازه‌های بیگانه مجاور را اندازه‌گیری کنید، تا هرگونه تداخل احتمالی روی آن‌ها را تایید کنید (به استاندارد EN 50162 مراجعه شود). اگر جریان‌های سرگردان DC وجود دارند، منشاء آن‌ها و سطح تداخل را تعیین کنید؛ تا ارزیابی شود که آیا جریان حفاظتی بیشتری مورد نیاز است و/یا اینکه سامانه تخلیه باید نصب شود،

۷- اندازه و جهت جریان مبادله‌شده با سازه‌های با پیوند الکتریکی را اندازه‌گیری کنید،

۸ - به‌منظور بررسی تداخل‌های احتمالی، ولتاژ AC سازه را اندازه‌گیری کنید؛ و در صورت لزوم، آن‌ها را کاهش دهید (به استاندارد EN ISO 18086 مراجعه شود).

۴-۱۱ ارزیابی اثربخشی حفاظت کاتدی

هنگامی‌که تماس بین سازه و الکترولیت و هنگامی‌که پلاریزه‌شدن سازه در وضعیت حالت-پایدار در نظر گرفته می‌شود، توصیه می‌شود که وظایف ارزیابی اثربخشی سامانه حفاظت کاتدی انجام شود. برحسب کاربرد، موارد زیر انجام شوند:

۱- پتانسیل وصل (ON) را در تمام نقاط خوانش پتانسیل، اندازه‌گیری کنید،

۲- در تمام نقاط خوانش پتانسیل، پتانسیل آزاد IR متناظر را ارزیابی و/یا پتانسیل خاموش (OFF) را اندازه‌گیری کنید. درصورت وجود جریان‌های سرگردان DC، پتانسیل را روی سازه (یا کوپن یا پراب) برای مدت‌زمان مربوط ثبت کنید،

۳- جریان حفاظتی تحویلی به‌وسیله هر منبع حفاظت کاتدی را اندازه‌گیری کنید،

۴- درصورت وجود جریان‌های سرگردان DC، مقدار و جهت جریان را در اتصال‌های الکتریکی اندازه‌گیری کنید،

۵- جریان ایستگاه تخلیه را اندازه‌گیری کنید،

۶- جریان را از طریق پراب یا کوپن آزمون بیرونی اندازه‌گیری کنید.

۷- در صورت نیاز، سطح حفاظت کاتدی را تنظیم کنید: پتانسیل لوله به خاک اندازه‌گیری‌شده را می‌توان با افزایش خروجی جریان منبع تغذیه، الکترونگاتیوتر (منفی‌ترشدن) کرد؛ یا با کاهش خروجی منبع تغذیه، الکتروپوزیتیوتر (مثبت‌ترشدن) کرد.

۱۱-۵ مستندسازی

توصیه می‌شود که تمام اندازه‌گیری‌های انجام‌شده برای فرایند راه‌اندازی، در گزارش فرایند راه‌اندازی جمع‌آوری شود. توصیه می‌شود که این اندازه‌گیری‌ها به‌عنوان مقادیر مرجع برای پایش و نگهداشت سامانه حفاظت کاتدی، در نظر گرفته شوند.

محتوای معمول گزارش‌های فرایند راه‌اندازی شامل موارد زیر است:

— شرح سامانه حفاظت کاتدی،

— بیانیه اثربخشی حفاظت کاتدی در مقابل معیارهای انتخاب‌شده،

— بیانیه خطرات مربوط به حفاظت بیش از حد،

— نقشه‌های جانمایی مطابق‌ساخت سازه، که سازه‌های مجاور و سامانه‌های حفاظت کاتدی را نشان می‌دهد،

— مشخصات دستگاه‌های حفاظت کاتدی مورد استفاده،

— مقادیر مقاومت عناصر آندی یا بستر،

— نقشه‌های مطابق‌ساخت نصب،

— نتایج آزمون‌های تداخل انجام‌شده حین بررسی‌های مقدماتی و راه‌اندازی در فرایند راه‌اندازی،

— طرح شماتیک نشان‌دهنده اتصال(ها) AC و DC،

— قابلیت ردیابی اقدام(های) اصلاحی،

— برنامه‌های پایش و نگهداشت توصیه‌شده، تا جایی‌که توسط مالک سازه ارائه نشده باشد (برای مثال، در راهنماهای شرکت)،

— شرح مواد همراه با جزئیات و مراجع.

۱۲ پایش، بازرسی و نگهداشت

۱۲-۱ کلیات

پس از فرایند راه‌اندازی، اثربخشی حفاظت کاتدی در طول عمر عملیاتی سازه از طریق پایش، بازرسی و نگهداشت، به‌دست می‌آید.

پیوست **الف** را می‌توان برای ارزیابی پیامدهای دوره‌های کوتاه‌مدت غیرعملیاتی، که ممکن است به‌وسیله فعالیت‌های نگهداشت الزام شود (برای مثال، پیامد صاعقه یا هرگونه آسیب تصادفی)، استفاده کرد.

بازرسی و پایش سامانه حفاظت کاتدی باید در فواصل زمانی معین انجام شود، تا اطمینان حاصل شود که معیارهای حفاظتی برآورده شده و هر گونه ناکارایی آشکارسازی شود.

پایش شامل بررسی‌های عملکردی و اندازه‌گیری‌های معمول است، که برای ارزیابی کلی سامانه حفاظت کاتدی انجام می‌شود؛ تا درست کارکردن آن را نشان دهد.

به‌منظور ارزیابی اثربخشی سامانه حفاظت کاتدی، بازرسی از طریق ارزیابی دقیق و جامع انجام می‌شود.

درصورتی‌که نگهداشت باتوجه به نتایج پایش یا بازرسی لازم باشد، برای نگه‌داری سامانه حفاظت کاتدی در شرایط کاری خوب، نگهداشت انجام می‌شود.

پایش و بازرسی باید طبق رویه‌های صحه‌گذاری‌شدهٔ نوشتاری، توسط کارکنان حفاظت کاتدی دارای صلاحیت انجام شود (به استاندارد ISO 15257 مراجعه شود).

توصیه می‌شود نتایج پایش، بازرسی و نگهداشت توسط کارکنان حفاظت کاتدی دارای صلاحیت تحلیل شود، و برای بررسی کفایت موارد زیر ثبت شود:

— مدیریت خوردگی،

— شناسایی ناکارایی‌ها و بهبودهای احتمالی،

— اشاره به لزوم ارزیابی دقیق‌تر شرایط سازه.

یادآوری- تحلیل نتایج پایش، بازرسی و نگهداشت می‌تواند با توافق کارفرما الزامی باشد.

۱۲-۲ پایش

بررسی‌های عملکردی، شامل مشاهدات چشمی مکرر و خوانش تجهیزات حفاظت کاتدی (برای مثال، ولتاژ و جریان ارائه‌شده به‌وسیله منابع حفاظت کاتدی) است.

توصیه می‌شود که بررسی‌های عملکردی با تکرار کمتر، شامل تایید درستی تجهیزات (مانند الکترودهای مرجع دائمی و قابل حمل، تجهیزات اندازه‌گیری) باشد.

اندازه‌گیری‌های معمول، شامل پتانسیل‌های وصل (ON) در مکان‌ها و جریان‌های مربوط در اتصال‌های الکتریکی، منابع حفاظت کاتدی، اتصال‌های آند گالوانی و اتصال‌های تخلیه است.

در صورت ارتباط، عوامل زیر بر تواتر اندازه‌گیری‌های معمول اثر می‌گذارند:

— پیامدهای نبودِ اثربخشی حفاظت کاتدی بر ایمنی و محیط زیست، در ارتباط با نوع محصول انبارشده یا حمل‌شده به‌وسیله سازه،

— نتایج حاصل از بررسی‌های عملکردی،

— ماهیت خورنده الکترولیت بیرونی (مانند خاک یا آب)،

— استفاده از آندهای گالوانی یا ایستگاه‌های جریان اِعمالی،

— حساس‌بودن تاسیسات حفاظت کاتدی به آسیب مکانیکی در اثر صاعقه یا اضافه‌ولتاژ،

— وجود مناطق خاص (مناطق خطرناک- مطابق با استاندارد EN 60079-10-1 -، مناطق شهری، مکان‌های حفاظت‌شده و غیره)،

— نوع، وسعت و پیچیدگی سازه،

— جنبه‌های ساختاری برای حفظ حفاظت کاتدی مؤثر (مانند جداره‌های روی خطوط لوله، سپرشدن الکتریکی و غیره)

— استفاده از پایش از راه دور،

- نوع منبع تغذیه (مبدل یکسوکننده، باتری، پنل‌های خورشیدی، مولدهای ترموالکتریک و غیره)،

— تداخل DC یا AC،

— استفاده از تخلیه‌های تک‌جهته.

اگر سامانه پایش از راه دور نصب شده باشد، تواترهای بازرسی، بررسی و اندازه‌گیری‌های معمول در محل را می‌توان کاهش داد.

۱۲-۳ بازرسی

بازرسی شامل اندازه‌گیری به‌منظور نشان‌دادن اثربخشی حفاظت کاتدی است. پتانسیل‌های خاموش و وصل در مکان‌های مربوط، اندازه‌گیری‌هایی رایج هستند که برای این منظور انجام می‌شوند. سایر اندازه‌گیری‌ها مانند جریان در اتصال‌های الکتریکی، منابع حفاظت کاتدی، اتصال‌های آند گالوانی و اتصال‌های تخلیه، اندازه‌گیری مقاومت بین سازه حفاظت‌شده کاتدی و قسمت آندی (آند یا بستر)، اندازه‌گیری پتانسیل جریان و پتانسیل‌های خاموش و وصل روی کوپن‌ها یا پراب‌ها، نرخ خوردگی روی کوپن‌ها یا پراب‌ها نیز می‌تواند انجام شود.

علاوه بر مجموعه‌ای از عوامل برای تواتر اندازه‌گیری‌های معمول، درصورت ارتباط، عوامل زیر بر تواترهای بازرسی اثر می‌گذارند:

— نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های معمول،

— کیفیت و نوع پوشش‌های حفاظتی اعمال‌شده،

— مقدار تداخل با سازه‌های بیگانه،

— سن و تاریخچه سازه.

۱۲-۴ نگهداشت

هنگامی‌که خرابی‌ها حین پایش یا بازرسی شناسایی می‌شوند، برای تعیین یک برنامه نگهداشت، توصیه می‌شود که بحرانی‌بودن خرابی‌ها ارزیابی و طبقه‌بندی شود. برنامه نگهداشت باید به‌صورت دوره‌ای به‌هنگام شود.

اگر خرابی عمدهٔ اثرگذار بر اثربخشی سامانه حفاظت کاتدی تعمیر شده باشد، توصیه می‌شود که مقادیر مرجع جدید برای پایش و بازرسی در نظر گرفته شود.

پیوست الف
(آگاهی‌دهنده)

احتمال خوردگی در خاک‌ها

هدف از تحلیل جامع احتمال خوردگی در خاک، تعیین اقدامات حفاظتی مناسب درمقابل خوردگی (مانند پوشش، حفاظت کاتدی) است. رویه‌های دقیق برای تحلیل احتمال خوردگی در خاک در استانداردهای EN 12501 -1 [1] و EN 12501-2 [2] ارائه شده است. این استانداردها به‌ویژه به برهم‌کنش بین پارامترهای مختلف خوردگی در خاک با مواد آهنی کم‌آلیاژ و غیرآلیاژی می‌پردازند. آن‌ها نحوه رده‌بندی احتمال خوردگی در یک محیط خورنده حاوی الکترولیت، که به‌طور دایم یا موقت بر سطح سازهٔ مدفون و اجزای ساختاری آن اثر می‌گذارد، را توصیف می‌کنند.

تحلیل و تفسیر عوامل مختلف مؤثر بر احتمال خوردگی، مستلزم تجربه است. باتوجه به اینکه نمی‌توان متغیرها یا عوامل را با جزئیات توصیف کرد، فقط می‌توان ارزیابی‌های احتمال خوردگی مورد انتظار را انجام داد. توصیه می‌شود که این اظهارات اطلاعاتی در مورد نوع و گستردگی خوردگی و اقدامات حفاظتی مفید یا کاملا ضروری ارائه دهد. عوامل مؤثر باید باتوجه به تأثیر آن‌ها بر احتمال خوردگی، تحلیل شوند. در زیر، مرتبط‌ترین عوامل خوردگی الکترولیت ذکر شده است. این فهرست جامع نیست و توصیه‌هایی در مورد عوامل احتمالی تأثیرگذار ارائه می‌دهد:

— خاک و مصالح بسترسازی:

— نوع الکترولیت،

— نوع مصالح خاک‌ریز بسترسازی،

— مقاومت الکترولیت خاص،

— رطوبت،

— مقدار pH،

— ظرفیت بافر،

— غلظت سولفید،

— غلظت نمک خنثی،

— غلظت سولفات،

— سطح آب زیرزمینی،

— همگنی الکترولیت،

— ناخالصی‌های الکترولیت،

— توپوگرافی،

— مقاومت سازه به الکترولیت؛

— اجزای سازه‌ای:

— جهت‌گیری،

— رسانایی،

— طول،

— مواد،

— سامانه‌های اتصال به زمین،

— پوشش،

— حفاظت کاتدی؛

— عوامل محیطی:

— تأثیر حضور بلندمدت تداخل AC و DC،

— فرایند بسترسازی،

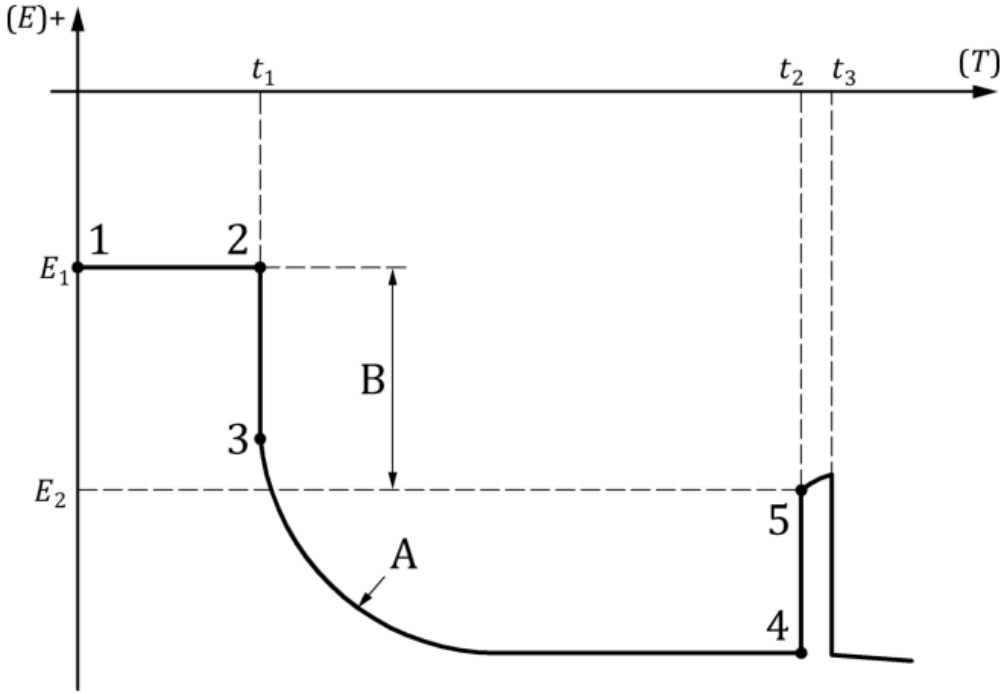
— سلول هوادهی.

پیوست ب
(آگاهی‌دهنده)

کاهش نرخ خوردگی به‌وسیله پلاریزه‌شدن کاتدی ۱۰۰ mV — جابه‌جایی ۱۰۰ mV پتانسیل کاتدی

ب-۱ روش اندازه‌گیری حین پلاریزه شدن

جابه‌جایی پتانسیل کاتدی ۱۰۰ mV، باتوجه به پتانسیل آزاد خوردگی (E_{cor}) مطابق با شکل ب-۱ اندازه‌گیری می‌شود. این روش برای سازه یا کوپنی که قبلا پلاریزه نشده است، اعمال می‌شود.



راهنما:

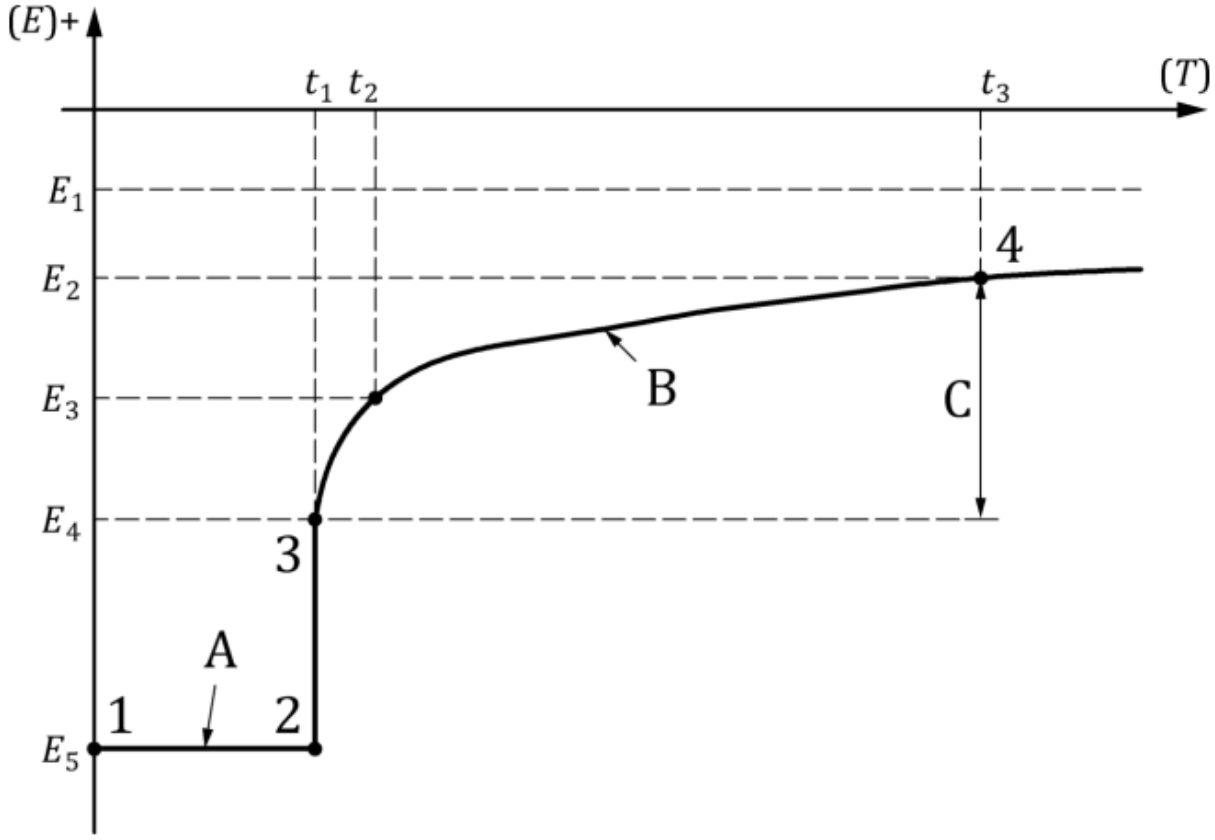
X زمان، t
Y پتانسیل، E
2 - 3 افت IR هنگام اعمال حفاظت کاتدی به سازه یا اتصال کوپن
5 - 4 افت IR هنگام خاموش‌شدن حفاظت کاتدی یا قطع اتصال کوپن
4 E_{ON} در لحظهٔ t_2
E_1 پتانسیل آزاد خوردگی (E_{cor})، (نشان‌داده‌شده روی منحنی با 1)
E_2 E_{OFF} در t_2، (نشان‌داده‌شده روی منحنی با 5)
t_1 زمانی که در آن، حفاظت کاتدی روی سازه یا اتصال کوپن اعمال می‌شود
t_2 زمانی که در آن، حفاظت کاتدی خاموش یا کوپن قطع می‌شود
t_3 زمانی که در آن، حفاظت کاتدی روشن یا کوپن وصل می‌شود
A منحنی تشکیل پلاریزه‌شدن
B مقدار تشکیل پلاریزه‌شدن

شکل ب-۱- فرایند پلاریزه‌شدن

مقدار پلاریزه‌شدن، اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده پتانسیل E_{cor} و پتانسیل E_{OFF} است.

ب-۲ روش اندازه‌گیری حین دپلاریزه شدن

جابجایی پتانسیل کاتدی ۱۰۰ mV، باتوجه به پتانسیل خاموش (E_{OFF}) مطابق با شکل ب-۲ اندازه‌گیری می‌شود. این روش برای سازه یا کوپنی که از قبل تحت حفاظت است، اعمال می‌شود.



راهنما:

X زمان، t
Y پتانسیل، E
2 - 3 افت IR هنگام خاموش‌شدن حفاظت کاتدی سازه یا قطع کوپن
E_1 پتانسیل آزاد خوردگی (E_{cor})
E_2 پتانسیل سازه به الکترولیت در t_3، (نشان‌داده‌شده روی منحنی با 4)
E_3 E_{OFF}
E_4 E_{OFF} لحظه‌ای (نشان‌داده‌شده روی منحنی با 3)
E_5 E_{ON} لحظه‌ای (نشان‌داده‌شده روی منحنی با 1)
t_1 زمانی که در آن، حفاظت کاتدی خاموش یا کوپن قطع می‌شود
t_2 زمانی که در آن، اندازه‌گیری E_{OFF} انجام می‌شود
t_3 زمانی که در آن، پتانسیل اندازه‌گیری و برای محاسبه مقدار دپلاریزه‌شدن استفاده می‌شود
A حفاظت کاتدی اِعمال می‌شود
B منحنی دپلاریزه‌شدن (یا واپاشی پلاریزه‌شدن)
C مقدار دپلاریزه‌شدن (یا مقدار واپاشی پلاریزه‌شدن)

شکل ب-۲- روش دپلاریزه‌شدن (واپاشی)

مقدار دپلاریزه‌شدن، تفاوت بین پتانسیل E_{OFF} و پتانسیل $E_2(t_3)$ است (که روی منحنی با 4 نشان داده شده است).

کتاب‌نامه

[1] EN 12501 -1, Protection of metallic materials against corrosion - Corrosion likelihood in soil - Part 1: General

[2] EN 12501 -2 , Protection of metallic materials against corrosion - Corrosion likelihood in soil – Part 2: Low alloyed and non alloyed ferrous materials

[3] NACE Publication no. 35108, Report on the 100 mV Cathodic Polarization Criterion

[4] EN 50443 , Effects of electromagnetic interference on pipelines caused by high voltage a.c. electric traction systems and/or high voltage a.c. power supply systems

[5] Pocket Handbook for cathodic protection; W.v.Baeckmann, 1975, Vulkan-Verlag, GmbH, Essen, "Taschenbuch fur den Kathodischen Korrossionsschutz"

[6] U.S. MIL-A-18001-K (1993), Anodes, Sacrificial zinc alloy

[7] ASTM B418-12 , Standard Specification for Cast and Wrought Galvanic Zinc Anodes

[8] ASTM B843 -09, Standard Specification for Magnesium Alloy Anodes for Cathodic Protection

[9] GUMMOW R.A. Performance efficiency of high potential magnesium anodes for cathodically protection iron watermains, Proceedings of North Area Eastern Conference (Houston, TX/NACE, Sept. 15-17, 2003)

[10] ISO 15589-1, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Cathodic protection of pipeline systems - Part 1 : On-land pipelines

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۹۹۴: سال ۱۳۹۵، صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- حفاظت کاتدی سامانه‌های خط لوله انتقال- خطوط لوله خشکی، با استفاده از استاندارد ISO 15589-1:2015 تدوین شده است.

[۱۱] استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۸۷۴۹، حفاظت کاتدی- قسمت ۲: اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا

[12] ISO 12696, Cathodic protection of steel in concrete

[13] EN 12499, Internal cathodic protection of metallic structures

[14] EN 61140, Protection against electric shock - Common aspects for installation and equipment

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۴۸: سال ۱۳۹۵، حفاظت در برابر شوک الکتریکی- جنبه‌های عمومی برای تاسیسات وتجهیزات، با استفاده از EN 61140:2016 تدوین شده است.

[15] ISO 15589-2, Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline transportation systems — Part 2: Offshore pipelines

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۲۹۹۴: سال ۱۳۹۴، صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- حفاظت کاتدی سامانه‌های خط لوله انتقال- خطوط لوله دریایی، با استفاده از استاندارد ISO 15589-2:2012 تدوین شده است.

[16] EN 12495, Cathodic protection for fixed steel offshore structures

[17] EN 13173, Cathodic protection for steel offshore floating structures

[18] EN 13636, Cathodic protection of buried metallic tanks and related piping

[19] EN 12474, Cathodic protection of submarine pipelines

[20] ISO 13174, Cathodic protection of harbour installations

[21] ISO 24656, Cathodic protection of offshore wind structures

[22] ISO 20313, Ships and marine technology - Cathodic protection of ships

[23] EN 15112, External cathodic protection of well casings

[24] API RP 651, Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks

[25] API RP 1632, Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping Systems

[۲۶] استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۷۴۹: حفاظت کاتدی- قسمت ۳: بازرسی و آزمون