

التآكل والحماية الكاثودية الاسم : احسان محسن عمران الرقم الوظيفي : 646385 الاختصاص : كهرباء القسّم : قسم إدارة المشاريع قائمة المحتويات 1- المقدمة 2- الهدف 3- التآكل ومنع التآكل 4- مقدمة في الحماية الكاثودية 5.1- النظام الكلفاني 5.2- أنظمة التيار المسلط 6- تصميم الحماية الكاثودية 6.1- الأبعاد المادية للهيكل المطلوب حمايته 6.2- رسم الهيكل المطلوب حمايته 6.3- العزل الكهربائي 6.4- الدوائر قصيرة 6.5- تاريخ تأكل الهياكل في المنطقة 6.6- مسح مقاومة الكهربائية 7- معيار المستخدم في الحماية الكاثودية 7.1- الحماية الكاثودية API 65 1 لخزانات البترول فوق الارض 7.2- الحماية الكاثودية لخزانات تخزين البترول تحت الارض وانظمة الانابيب المدفونة 7.3- فحص الخزان واصلاحه وتعديله وإعادة بنائه API 653 الهياكل الخرسانية المسلحة EN ISO 9223 معيار EN 9 4 7- أهداف الحماية الكاثودية في حقول النفط الجدوى الاقتصادية من استخدام الحماية الكاثودية- 10 11- تنفيذ الحماية الكاثودية في حقول النفط 12- الابتكارات والتطورات في الحماية الكاثودية 13- التوافق مع اللوائح 14- التبنّي العالمي للحماية الكاثودية 15- الاستنتاجات والتوصيات 16 - الملخص والنتائج التآكل هو عملية كهروكيميائية يترك فيها التيار هيكلاً في موقع القطب الموجب ويمر عبر إلكترونية ويعيد دخول الهيكل في موقع الكاثود. على سبيل المثال قد يكون قسم واحد صغير من خط الأنابيب مصنوعاً يتدفق التيار بسبب اختلاف محتمل بين الأنود والكاثود. أي أن جهد الأنود أكثر سلبية من جهد الكاثود وهذا الاختلاف هو القوة الدافعة لتيار التآكل. شكل (1) 2. الهدف:- الحماية الكاثودية هي إجراء يتم اتباعه لحماية الهياكل المعدنية والحديدية والأنابيب من التآكل جراء تعرض سطوحها إلى تماس مع التربة او مع الماء. تتآكل السطوح الحديدية للهياكل المعدنية والأنابيب والمعدات الحديدية عموماً عند تماس سطوحها بالتربة او الماء نتيجة لحدوث تفاعلات كيميائية مصحوبة بسريان الالكترونات (اي سريان للتيار الكهربائي) لذا يمكن القول بأن عملية التآكل هي عملية كهروكيميائية تؤدي بالنتيجة إلى فقدان اجزاء من معدن الحديد وبالتالي تآكل السطح المعرض للتربة او الماء او حتى المعرض للجو الرطب حيث تتكون خلية كلفانية. الخلية الكلفانية لو قمنا بغمس قطبين من معدنين مختلفين مثل الزنك و النحاس مثلاً في محلول موصل للكهرباء وربطنا بينهما بسلك فإنه يتولد عن ذلك تيار كهربائي يسري من الزنك إلى النحاس داخل المحلول ويكمل دورته خلال السلك الواصل بينهما . تعرف هذه الخلية الكهروكيميائية باسم خلية كلفاني نسبة إلى مكتشفها العالم الإيطالي كلفاني. يسمى القطب الذي يخرج منه التيار إلى المحلول "أنود"، ويسمى القطب الذي يستقبل التيار "كاثود"، ويترتب على سريان التيار في الخلية حدوث تآكل على الأنود بينما يبقى الكاثود سليماً ويترسب على سطحه طبقة خفيفة من الهيدروجين لو بقيت على سطحه لأحدثت استقطاباً في الخلية تتلاشى معه شدة التيار في الخلية ومن ثم تتوقف عملية التآكل ولكن تحدث عند الكاثود تفاعلات كيميائية تمنع مثل هذا الاستقطاب فيستمر سريان التيار في الخلية وتستمر عملية التآكل. تتوقف عملية التآكل على الأنود على ثلاثة عوامل: نوع مادة الأنود. شدة التيار. 3. التآكل ومنع التآكل (Corrosion and corrosion prevention) : التآكل مشكلة خطيرة ومكلفة للغاية. وبسبب ذلك ، يمكن أن تنهار المباني والجسور ، وتتحطم خطوط أنابيب النفط ، وتتسرب المواد الكيميائية في المصانع الكيميائية ، يمكن أن تسبب التلامسات الكهروكيميائية المتآكلة حرائق ومشاكل أخرى ، وقد تؤدي الحقن الطبية المتآكلة إلى تسمم الدم وحدثت امراض خطيرة في جسم الانسان ، وقد تسبب تلوث الهواء في أضرار تآكل للأعمال الفنية في جميع أنحاء العالم. يهدد التآكل في حاويات التخزين من المواد والنفائيات المشعة التي يجب تخزينها في حاويات لعشرات الآلاف من السنين الى كوارث كبيرة شكل (2). تنتج أكثر أنواع التآكل شيوعاً عن التفاعلات الكهروكيميائية. يحدث التآكل العام عندما تتأكسد معظم الذرات الموجودة على نفس السطح المعدني أو كلها ، مما يؤدي إلى إتلاف السطح بالكامل. تتأكسد معظم المعادن بسهولة و تميل إلى فقدان الإلكترونات للأكسجين (ومواد أخرى) في الهواء أو في الماء. عندما يتم تقليل الأكسجين (اكتساب الإلكترونات) ، فإنه يشكل أكسيداً مع المعدن شكل (2) عندما يحدث الاختزال والأكسدة على أنواع مختلفة من المعدن في اتصال مع بعضها البعض ، فإن العملية تسمى التآكل الكلفاني. الذي يحدث بشكل شائع في المعدات الإلكترونية ، يصبح الماء أو الرطوبة الأخرى محاصرين بين ملامسين كهربائيين يتم تطبيق جهد كهربائي بينهما. والنتيجة هي خلية التحليل الكهربائي غير المقصودة شكل (2) الحماية الكاثودية هي طريقة لتقليل التآكل عن طريق تقليل الاختلاف في الجهد بين القطب الموجب والكاثود. يتم تحقيق ذلك من خلال تطبيق تيار على الهيكل المراد حمايته (مثل خط الأنابيب) من بعض المصادر الخارجية. عندما يتم تطبيق تيار كافٍ سيكون الهيكل بأكمله عند إمكانات واحدة وبالتالي لن توجد مواقع الأنود والكاثود. تستخدم الحماية الكاثودية بشكل شائع في العديد من أنواع الهياكل مثل خطوط الأنابيب وخزانات التخزين تحت الأرض والأقفال ، وهياكل السفن الشكل (3) هناك نوعان رئيسيان من أنظمة الحماية الكاثودية: التيار الكلفاني

والتيار القسري المسلط. الشكل 3 يوضح هذين النوعين. هذه العناصر ضرورية لجميع أنظمة الحماية الكاثودية الشكل (3)

الشكل (3) أنواع أنظمة الحماية الكاثودية. (Galvanic system) النظام الكلفاني 5. يستخدم نظام الحماية الكاثودية الكلفانية لحماية المعادن المختلفة من التآكل توجد منطقة واحدة من الهيكل بإمكانية سلبية أكثر من غيرها مما يؤدي إلى حدوث تآكل. ومع ذلك إذا تم وضع جسم خامل أقل بكثير (أي مع إمكانات سلبية أكثر بكثير مثل أنود المغنيسيوم) بجوار الهيكل المراد حمايته مثل خط الأنابيب ويتم تثبيت اتصال معدني (سلك معزول) بين الكائن والهيكل سيصبح الجسم أو الكائن الجديد هو الأنود وسيصبح الهيكل بأكمله هو الكاثود أي أن الكائن الجديد يتآكل بشكل مضحي لحماية الهيكل كما هو موضح في الشكل (3) وبالتالي فإن نظام حماية الكاثود الكلفاني يسمى نظام الحماية الكاثودية الأنود الذبيح أو المضحي لأن الأنود يتآكل بشكل تضحي لحماية الهيكل. تصنع الأنودات الكلفانية عادة إما من المغنيسيوم أو الزنك بسبب قدرة هذه المعادن العالية مقارنة بالهياكل الفولاذية الشكل [1]. هناك العديد من المزايا الهامة لاستخدام الأنودات الكلفانية: • لا تحتاج إلى مصدر طاقة - نظراً لحقيقة أن تيار الحماية يتم إنشاؤه من خلال التفاعل الكهروكيميائي بين المعادن فلا يلزم توفير مصدر طاقة خارجية. • يتم تقليل تكلفة التركيب والصيانة - عادةً ما تتمتع الأنودات الكلفانية بميزة عدم طلب إنشاء منشآت إضافية أو بناية تحتوي المنظومة، حيث يتم تثبيت الأنودات عادةً بالقرب من الهيكل المحمي بمجرد التثبيت لا يتطلب الأمر سوى القليل جداً من الصيانة طوال عمر الأنود. لا يخضع أنود نظام الأنود الكلفاني لنفس درجة العطل الكهربائي أو الميكانيكي مثل تلك الموجودة في نظام التيار القسري المسلط.

• فعال وغير متداخل - يمكن أن ينتج عن تيار المنخفض نسبياً والموزع بشكل جيد في النظام الكلفاني كثافة تيار أكثر ثباتاً في الهيكل المحمي. هذا يقلل من الحماية والتيار الضائع. يقلل تيار المنخفض من إمكانية التداخل إلى الحد الأدنى. تتيح المزايا المذكورة استخدام نظام الحماية الكاثودية الكلفانية بكفاءة في مجموعة متنوعة من التطبيقات مثل: 2- في المناطق الريفية وفي البحر حيث لا تتوفر الكهرباء. 3- للحماية التكميلية ، مثل معاير خطوط الأنابيب. 4- في المناطق المعزولة المسببة للتآكل (النقاط الساخنة). 5- في المناطق الحضرية ذات الازدحام الشديد حيث يسبب التوزيع الحالي والتداخل مشاكل. 6- على الهياكل المتقطعة كهربائياً . 7- أنابيب المغطاة جيداً. ومع ذلك فإن نظام الأنود الكلفاني لا يخلو من القيود. عادةً ما يكون الاختلاف في إمكانات الأنود والكاثود الذي يتسبب في تدفق تيار الحماية صغيراً جداً. ينتج عن الاختلاف الضئيل في الجهد أو "القدرة الدافعة" ، نواتج حالية محدودة للغاية ، هذه الحقيقة تحد بشدة من الاستخدام الاقتصادي للنظام الكلفاني على الهياكل الكبيرة والهياكل ضعيفة [2] (Impressed current systems) أنظمة التيار المسلط 5. تستخدم أنظمة الحماية الكاثودية للتيار القسري نفس عناصر نظام الحماية الكلفانية ويتم حماية الهيكل فقط عن طريق تطبيق تيار عليه من الأنود. يتم توصيل القطب الموجب والهيكل بواسطة سلك معزول كما هو الحال بالنسبة للنظام الكلفاني. يتدفق التيار من الأنود عبر الإلكترونية إلى الهيكل تماماً كما هو الحال في النظام الكلفاني. يتمثل الاختلاف الرئيسي بين أنظمة التيار الكلفاني والتيار المسلط في أن النظام الكلفاني يعتمد على الاختلاف في الجهد بين الأنود والهيكل بينما يستخدم نظام التيار المسلط مصدر طاقة خارجياً لقيادة التيار كما هو موضح في الشكل 3. عادةً ما يكون مصدر الطاقة الخارجي عبارة عن مقوم يغير طاقة التيار المتردد المدخلة إلى مستوى طاقة التيار المستمر المناسب. يمكن ضبط المعدل بحيث يمكن الحفاظ على الإخراج المناسب خلال عمر النظام. عادةً ما تكون أنودات نظام الحماية الكاثودية للتيار القسري عبارة عن حديد زهر أو جرافيت عالي السيليكون [3]. المزايا والقيود لنظام التيار المسلط أو القسري هناك العديد من المزايا الهامة لاستخدام أنظمة أنود التيار المسلط [6]: 1- سعة خرج تيار غير محدودة - يمكن أن تكون كمية التيار التي يمكن تصميمها في نظام التيار المسلط من بضعة أمبير إلى عدة مئات من الأمبيرات. 3- انخفاض تكلفة الأمبير لتيار الحماية الكاثودية - يعتبر نظام الأنود الكلفاني أكثر تكلفة بشكل ملحوظ حيث يلزم وجود تيار كبير نسبياً ويقاس بالأمبير بدلاً من ملي أمبير من إجمالي التيار. هناك العديد من العيوب أو المحددات الهامة لاستخدام الحماية الكاثودية بالتيار القسري [4]. • تكون أكثر تكلفة إذا كانت هناك حاجة لبضعة ملي أمبير من التيار لحماية هيكل صغير أو مغطى جيداً. فسيكون هذا غالباً الخيار الأكثر اقتصادية [5]. • أنظمة التيار القسري لها تكلفة صيانة أعلى. • قد تؤدي أنظمة التيار القسري إلى حدوث تآكل طائش في الهياكل المجاورة الأخرى. هذه مشكلة محتملة متأصلة في أي نظام تيار متأثر. يمكن تقليل ذلك أحياناً من خلال استخدام تصميمات الأنود الموزعة حيث يتم وضع الأنودات بالقرب من الهياكل المحمية [5]. (Cathodic Protection Design) تصميم الحماية الكاثودية . وتركيبها بشكل صحيح ، والتفتيش عليها من أجل الوظيفة المناسبة ، ومعتمدة لتقديم حماية كافية وصيانتها. تعترف معايير NACE الحالية بالحماية الكافية من خلال ثلاثة معايير أساسية للصلب

المعرض لبيئات التربة [6]: -100mV polarization shift criteria – 850mVCSE polarized potential عند تصميم أو تقييم نظام الإنتاج الأنظف ، تتضمن أهداف تصميم الإنتاج الأنظف الأساسية ما يلي: 1- توفير كثافة تيار كافية ومستمرة لجميع أجزاء الهيكل بمعايير مقبولة 2- التقليل من تأثيرات التداخل على الهياكل الأخرى 3- توفير المرونة التشغيلية للتغيرات المتوقعة في البيئة والطلاء الواقي وعمر خدمة النظام 4 - الالتزام بالقواعد والمعايير المعمول بها لضمان سلامة العاملين في القطاعين العام والتشغيلي 5- توفير عمر تصميمي لنظام الحماية الكاثودية يتزامن مع العمر التشغيلي للنظام المحمي 6- توفير مرافق الاختبار والمراقبة للتأكد من أن أداء نظام الإنتاج الأنظف يفي بمعايير الصناعة ومعاييرها ولوائحها. إن تحديد معدل التآكل بشكل مباشر ليس عموماً عملية بسيطة. الطريقة الرئيسية هي قياس البنية لإمكانات الإلكترونات مقارنة بالمعايير المختارة. يتم قياس أيضاً تيارات النظام كمعامل أداء إضافي. حيث يتم وبشكل روتيني قياس الهيكل لإمكانات الإلكترونات للائتمثال لهذه المعايير والتأكد من تلبية أي معايير تنظيمية. والتي سيكون لكثير منها نتائج كارثية في حالة الفشل: 1- شبكات أنابيب وتوزيع الغاز الطبيعي. 4- أنابيب الحريق الرئيسية وأنابيب الحماية من الحريق تحت الأرض. 5- أنابيب مضغوطة من حديد الدكتايل في القواعد الكونكريتية الأرضية . 6- أنابيب توزيع الحرارة الأرضية وأنابيب مياه التبريد المدفونة. دعائم الرصيف ، الأنظمة الأخرى التي قد تستخدم الحماية الكاثودية: 1- أنظمة المنتجات الخطرة. 2- أنظمة توزيع مياه الشرب. 3- أنظمة توزيع الهواء المضغوط. 4- محطات رفع المجاري. 5- حديد التسليح الخرساني. يمكن لنظام الحماية الكاثودية المصمم بشكل صحيح في حالة تشغيله وصيانته الى إطالة عمر الهيكل إلى أجل غير مسمى مع استبدال مكونات التالفة لمنظومة الحماية الكاثودية وتعتبر تكاليف الصيانة السنوية والإصلاح الدوري أقل بكثير من الإصلاحات الرئيسية أو استبدال الهياكل نفسها. يعتبر الحد من المسؤولية المحتملة عن الفشل المبكر للمرافق مثل انفجارات خطوط الغاز وتسرب وقود الطائرات أمراً هائلاً. يعتبر تجنب التكلفة الناجم عن التسرب الذي ينتج عنه غرامات وتنظيف البيئة ومعالجة التربة الملوثة والتخلص منهاجنباً إلى جنب مع الصورة العامة السلبية المرتبطة بها اعتباراً شاملاً في اختيار واستدامة حل فعال وفعال للإنتاج الأنظف [8]. من ناحية أخرى ، التيار الكلفاني أو التيار القسري ، يجب جمع بعض البيانات الأولية [8]. 6.1 الأبعاد المادية للهيكل المطلوب Physical dimensions of structure to be protected أحد العناصر المهمة في تصميم نظام الحماية الكاثودية هو الأبعاد المادية للهيكل (على سبيل المثال الطول والعرض والارتفاع والقطر). تستخدم هذه البيانات لحساب مساحة السطح المراد حمايتها [8] (Drawing of structure to be protected) حمايته [8]. العزل الكهربائي 6.3 (Electrical isolation) إذا كان النظام الحماية الكاثودي سيحمي الهيكل فيجب توصيله كهربائياً بالقطب الموجب كما يوضح الشكل رقم 4 في بعض الأحيان يتم عزل أجزاء من هيكل أو نظام كهربائياً عن بعضها البعض بواسطة العوازل على سبيل المثال في نظام توزيع أنابيب الغاز قد يحتوي أنبوب المدخل لكل مبنى على عازل كهربائي لعزل الأنابيب الداخلية عن خط الأنابيب أيضاً يمكن استخدام عازل كهربائي في صمام على طول خط الأنابيب لعزل قسم واحد من النظام كهربائياً عن قسم آخر. نظراً لأن كل جزء معزول كهربائياً من الهيكل يحتاج إلى حماية كاثودية خاصة به ، يجب تحديد مواقع هذه العوازل شكل (4) شكل (4) (Short circuits) الدوائر قصيرة 6.4 يمكن أن تحدث دائرة قصر عندما يتصل أحد أنظمة الأنابيب بآخر مما يتسبب في حدوث تداخل مع نظام الحماية الكاثودية عند تحديث الأنظمة الحالية ، سيكون التخلص من الدوائر القصيرة خطوة أولى ضرورية [9]. (Corrosion history of structures in the area) يمكن أن تكون دراسة تاريخ التآكل في المنطقة مفيدة للغاية عند تصميم نظام الحماية الكاثودية. يجب أن تعزز الدراسة التنبؤات للتآكل لهيكل معين وبيئته بالإضافة إلى ذلك قد تكشف عن ظروف غير طبيعية لا يشتبه في خلاف ذلك. يمكن أن يكون موظفو المرافق مصدراً جيداً للمعلومات لتاريخ التآكل [10]. (Electrolyte resistivity survey) مسح مقاومة الإلكترونية 6. يتناسب معدل تآكل الهيكل مع مقاومة الإلكترونية. بدون الحماية الكاثودية مع انخفاض مقاومة الإلكترونية ، يُسمح بتدفق المزيد من التيار من الهيكل إلى الإلكترونية ؛ وبالتالي ، فإن الهيكل يتآكل بسرعة أكبر. يمكن قياس المقاومة إما في المختبر أو في الموقع باستخدام الأدوات المناسبة. سيتم استخدام بيانات المقاومة لحساب أحجام الأنودات والمعدلات المطلوبة في تصميم نظام الحماية الكاثودية [10]. جدول رقم (1) لغرض الحفاظ على سلامة وتشغيل خطوط أنابيب النفط وخزاناته يجب مراعاة المعايير الدولية في تصميم الحماية الكاثودية ، حيث توجد مجموعة من المعايير ، تقديم الإجراءات والممارسات لتحقيق السيطرة الفعالة على التآكل على سقوف خزانات التخزين فوق الأرض من خلال استخدام الحماية الكاثودية. يحتوي هذا على أحكام لتطبيق الحماية الكاثودية على خزانات التخزين الموجودة فوق سطح الأرض والجديدة. عند استخدام الحماية الكاثودية لتطبيقات خزانات التخزين فوق الأرض ، يكون

القص من توفير معلومات وإرشادات خاصة بخزانات التخزين المعدنية فوق الأرض في خدمة المواد الهيدروكربونية . لا يتم توفير تصميمات محددة للحماية الكاثودية. يجب تطوير مثل هذه التصميمات من قبل شخص على دراية تامة بممارسات الحماية الكاثودية لخزانات البترول فوق الأرض. لا يحدد هذا ممارسات محددة لكل موقف لأن الظروف المتنوعة التي يتم فيها تركيب سقوف الخزان تمنع توحيد ممارسات الحماية الكاثودية [11]. API RP 1632, Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping Systems تغطي هذه المواصفة الموصي بها طريقتين لتوفير الحماية الكاثودية لأنظمة تخزين وتوزيع انابيب البترول الفولاذي المدفون. المعلومات المقدمة لمحطات الخدمة لا تنطبق بالضرورة على الخزانات والأنابيب المدفونة المستخدمة لأغراض أخرى. تهدف هذه الممارسة الموصي بها إلى أن تكون بمثابة دليل عام للمصممين والمهندسين المهتمين بالحماية الكاثودية لأنظمة تخزين وتوزيع البترول تحت الأرض. لا يتم توفير تصميمات محددة للحماية الكاثودية. Tank Inspection, Repair, Adjustment and Rebuild API 653 إزالة القاع القديم مهم أيضاً في منع التآكل الكلفاني [API 651] وحيثما يكون ذلك ممكناً ، [12] EN ISO 9223 standard for reinforced concrete structures تحليل الحساسية لحساب معدل التآكل وفقاً للنهج القياسي هناك الكثير من العوامل التي قد تؤثر على موثوقية البناء مثل المتانة وقابلية الخدمة وسلامة البناء أو عناصر أجزائه يعد الضرر الناتج عن التآكل سواء في التسليح من أهم العوامل في الهياكل أو الهياكل الخرسانية المسلحة المصنوعة من الفولاذ الهيكلي. يمكن تحديد ضرر التآكل هذا من خلال المعيار الفعلي EN ISO 9223 حيث يصف هذا المعيار المعادلات التي تسمى وظائف الاستجابة للجرعة لحساب معدل التآكل Corrosion للمواد القياسية مثل الكربون الصلب والزنك وما إلى ذلك. يتم تحديد هذه المعادلات من معدل تآكل العينات تحت تآكل الغلاف الجوي الخارجي بالتعاون مع قياس البيانات المناخية. تركز هذه على حساب معدل تآكل الصلب الكربوني وفقاً لوظيفة الاستجابة للجرعة وتحليلها الحساس للتركيز على المعلمات المختلفة عند ادخال المحددات او المعاملات قد يمثل هذا التباين في ادخال المعاملات للظروف المختلفة التي قد تظهر فيها الإنشاءات في الممارسة العملية قد توفر هذه المعلومات أي من معاملات الإدخال تؤثر بشكل أكبر على معدل التآكل المحسوب وما إذا كانت هناك حاجة لزيادة تركيز شبكة محطة القياس الخاصة بها يمكن أيضاً توفير موقع المحطات الخارجية مع العينات أو اختيار اختبار التآكل المتسارع [13] 8. تأثير الحماية الكاثودية على تآكل خطوط الأنابيب الفولاذ تحت الطلاء المفكك Effect of cathodic protection on corrosion of CS pipeline steel under disbanded coating أظهرت النتائج أنه في المرحلة المبكرة من تآكل الفولاذ لا يمكن أن تصل الحماية الكاثودية إلى قاع الشق لحماية الفولاذ من التآكل بسبب القيود الهندسية حيث يحدث تآكل الفولاذ بشكل تفضيلي داخل الشق بسبب فصل التفاعل الأنودي والكاثودي مع استنفاد الأوكسجين المذاب في محلول الشق يتمثل الدور الرئيسي للحماية الكاثودية في التخفيف من التآكل المتسلسل للصلب في الشق تحت الطلاء المتحلل في تعزيز قلوية المحلول المحلي مع زيادة المسافة من المنطقة المفتوحة يلزم وجود استقطاب كاثودي مرتفع لتحقيق مستوى حماية كاثودية مناسبة عند قاع الشق يوجد فرق محتمل دائماً بين المنطقة المفتوحة والشق الداخلي مما يقلل من فعالية الحماية الكاثودية [14] . 9 . Cathodic Protection Objectives in Oil Fields • التآكل في خطوط الأنابيب والهياكل المعدنية: يشكل التآكل تهديداً كبيراً لبنية حقول النفط مما يؤدي إلى التسريبات والانفجارات والإصلاحات الباهظة التكلفة تمنع الحماية الكاثودية من التآكل بشكل فعال عن طريق توجيه التيارات الكهربائية لمواجهة التآكل الكلفاني والذي يحدث بسبب وجود معادن مختلفة تتلامس مع إلكترونات مثل التربة أو الماء.