

فناوری بازرسی

حین برداری از سیستم‌های لوله‌کشی و خطوط لوله انتقال

سید علی سیدی پور

سرشناسه	: سیدی پور، سیدعلی، ۱۳۵۹ -
عنوان و نام پدیدآور	: فناوری بازرسی حین بهره برداری از سیستم‌های لوله‌کشی و خطوط لوله انتقال / سیدعلی سیدی پور.
مشخصات نشر	: اصفهان: کانون پژوهش، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۱۶۰ص: مصور، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۳۰۵-۶۴-۵
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: نفت -- لوله‌ها -- بازرسی
موضوع	: Inspection -- Petroleum pipelines
موضوع	: نفت -- لوله‌ها -- خوردگی
موضوع	: Corrosion -- Petroleum pipelines
موضوع	: گاز -- لوله‌ها -- خوردگی
موضوع	: Gas-pipes -- Corrosion
موضوع	: نفت -- لوله‌ها -- نگهداری و تعمیر
موضوع	: repair Petroleum pipelines -- Maintenance and
موضوع	: خطوط لوله -- بازرسی
موضوع	: Pipelines -- inspection
رده بندی کنگره	: TN ۸۱۹/۵۸/۹۷
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۸۶۷۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۱۵۵۱۵۱

فناوری بازرسی حین بهره‌برداری از سیستم‌های لوله‌کشی و خطوط لوله انتقال

نویسنده: سید علی سیدی پور

ناشر: کانون پژوهش

نوبت چاپ اول ۱۳۹۷

تعداد: ۱۰۰۰ مجلد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۳۰۵-۶۴-۵

قیمت: ۱۴۰۰۰ تومان

تلفن پخش: ۰۹۱۶۷۸۶۰۴۵۹

کلیه حقوق برای مؤلف محفوظ است.

فهرست مطالب

پیش‌گفتار	۱۱
مقدمه	۱۳
فصل اول	۱۷
تاریخچه استفاده از روش‌های ارزیابی عمر باقیمانده	۱۷
فصل دوم	۱۹
شرایط بروز خوردگی در استانداردهای مورد استفاده در ساخت و بازرسی سیستم‌های لوله‌کشی (PIPING) و خطوط لوله انتقال (PIPELINE)	۱۹
محیط‌های خورنده اصلی در صنعت نفت و گاز	۱۹
خوردگی تحت احیای اکسیژن	۱۹
خوردگی ناشی از CO_2	۲۱
خوردگی ناشی از H_2S	۲۳
API 570	۲۵
API 579	۲۶
API RP 571	۲۸
API RP 580	۲۸
API RP 581	۲۹
ASME B31G	۳۰
ASME B31	۳۲
ASME B31.3	۳۲
فصل سوم	۳۷
روش‌های پایش و بازرسی خوردگی لوله	۳۷
منابع استخراج و گردآوری اطلاعات لازم	۳۷
روش‌های استخراج اطلاعات خوردگی و بازرسی فنی از سیستم لوله‌کشی	۳۹

روش‌های رایج برای پایش خوردگی	۴۰
کوپن‌های کاهش وزن	۴۲
ردیاب‌ها (پروب‌های خوردگی)	۴۵
پروب‌های ER	۴۵
پروب‌های LPR	۴۷
روش‌های رایج بازرسی فنی و ضخامت‌سنجی	۴۹
بازرسی چشمی	۴۹
روش‌های بازرسی مرئی (نوری)	۵۲
آزمون امواج فراصوت	۵۳
خراب و رفتار کلی امواج فراصوت	۵۴
واحد محرک-گیرنده	۵۶
مبدل‌های اصوت	۵۷
کوپلنت	۵۸
تکنیک‌های آزمون فراصوت	۵۸
توانمندی‌های روش UT	۶۰
محدودیت‌های روش UT	۶۱
بازرسی با امواج فراصوت هم‌فاز شده (P, R, T)	۶۱
وسایل و تجهیزات	۶۶
توانمندی‌های PAUT	۶۷
محدودیت‌های PAUT	۶۸
بازرسی با روش IRIS	۷۱
پردازش داده‌ها در IRIS	۷۴
محدودیت‌های بازرسی به روش IRIS	۷۶
بازرسی و ضخامت‌سنجی توسط پرتونگاری	۷۷
مزایای استفاده از پرتوهای گاما به جای پرتوهای X در پرتونگاری	۷۸
معایب استفاده از پرتوهای گاما	۷۹
الف) پرتونگاری مماسی و پرتونگاری به روش تصویر از دو دیواره	۷۹
ب) پرتونگاری از مقطع عرضی	۸۲
ج) پرتونگاری دیجیتالی	۸۵

۸۷	روش الگوی میدان الکتریکی (FSM)
۹۰	توانمندی‌های روش FSM
۹۱	محدودیت‌های FSM
۹۱	توپک‌های هوشمند
۹۲	توپک‌های مبتنی بر تکنولوژی نشت شار مغناطیسی (MFL)
۹۵	توپک‌های MFL
۹۷	الف) توپک‌های با دقت استاندارد
۹۷	ب) توپک‌های با دقت بالا
۹۸	توپک‌های Magna Scan
۹۹	توپک‌های T.m. Scan
۱۰۰	توپک‌های FI
۱۰۱	توپک‌های Smart scan Ds
۱۰۳	توپک Smart scan
۱۰۶	توپک‌های ساخته شده بر مبنای تکنولوژی انتشار امواج فراصوت
۱۰۶	توپک‌های امواج فراصوت (التراسونیک)
۱۰۵	توپک‌های Ultra Scan duo
۱۰۹	توپک‌های Ultra Scan CD
۱۱۰	توپک‌های EMAT
۱۱۱	توپک Elastic Wave
۱۱۱	طیف‌سنجی حرارتی (Thermal Spectroscopy)
۱۱۲	امواج فراصوت هدایت شده (Guided Wave UT, GWUT, LRUT)
۱۱۶	آزمون با امواج جریان گردابی (Eddy Current Test, EC, ECT)
۱۱۹	فصل چهارم
۱۱۹	تحلیل تناسب و کارآمدی لوله برای ادامه بهره‌برداری (Fitness For Service, FFS)
۱۲۱	مراحل تحلیل داده‌های بازرسی فنی و پایش خوردگی
۱۲۱	اطلاعات ورودی لازم برای الگوریتم و شروع ارزیابی سیستم
۱۲۱	محاسبه و تعیین نرخ خوردگی
۱۲۵	مکانیزم‌های تخریب
۱۲۵	مکانیزم تخریب توسط خوردگی و کاهش ضخامت عمومی و موضعی

الگوریتم تخریب تحت اثر خوردگی عمومی و روابط مربوطه	۱۲۸
لوله مستقیم	۱۲۹
لوله دارای خمش	۱۲۹
زانوئی‌ها	۱۳۰
مایترها	۱۳۰
سه راهه‌ها، انشعابات شاخه‌ای و نازل‌ها	۱۳۳
فلنج‌ها	۱۳۳
محاسبه MRT	۱۳۵
۱- لوله‌های مستقیم	۱۳۵
۲- لوله‌های دارای خمش و مایترهای تحت فشار داخلی	۱۳۷
۳- زانوئی‌ها، آبی‌ها، کاهنده‌ها و سایر اتصالات تولید شده به روش ریخته‌گری در کارخانه‌های تولیدی	۱۳۸
تخمین عمر باقیمانده و محاسبه MAWP جدید با استفاده از MRT	۱۳۸
مکانیزم تخریب تولید شکست ترد	۱۴۰
الگوریتم بررسی تأثیر سست شدن در عمر باقیمانده	۱۴۱
فصل پنجم	۱۴۹
آنالیز سیستم‌های اندازه‌گیری (IVISA) برای تحلیل خطاهای اندازه‌گیری	۱۴۹
مراحل مقدماتی تجزیه و تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری	۱۵۱
تحلیل پایداری	۱۵۱
رسم ترسیم نمودار R و X	۱۵۲
الگوهای نشان دهنده تغییرات غیر اتفاقی در نمودارهای کنترل	۱۵۳
تحلیل تمایل (Bias)	۱۵۵
تحلیل ارتباط خطی (Linearity)	۱۵۶
تحلیل تکرارپذیری (Repeatability)	۱۵۶
منابع	۱۶۰

پیش‌گفتار

هدف از تدوین و تألیف این کتاب، ارائه راهکار و اطلاعات کاربردی برای تخمین و تعیین عمر باقیمانده سیستم‌های خورده شده، لوله‌کشی و خطوط لوله انتقال در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی است. مهمترین بخش از تألیف، تهیه محصولات نفتی در سایت‌های بهره‌برداری، پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی رخ می‌دهد. سیستم‌های لوله‌کشی که از اجزای متنوعی، شامل لوله و اتصالات تشکیل شده‌اند، وظیفه جابجایی سیالات را در میان واحدهای مختلف بر عهده دارند. این وظیفه برای فواصل میان سایت‌ها، بر عهده خطوط لوله انتقال است. توجه به گستره بسیار متنوع مواد و فلزات مهندسی، سیالات و مواد شیمیایی، دما و فشار بهره‌برداری، تجهیزات و با توجه به تمایل ذاتی مواد و فلزات به خوردگی، در صنایع نفت و گاز با طیف گسترده‌ای از انواع خوردگی‌ها و آسیب‌های ناشی از آنها مواجه‌ایم. درآمد حاصل از این صنایع وابستگی فراوانی به دما، رطوبت، پوسستگی فرایندها و سلامت تجهیزات مربوطه دارد. بنابراین، لازم است پیش از رخ دادن هر گونه تلفات، به‌طور منظم به کارافتادگی تجهیزات، اقدامات پیش‌گیرانه لازم انجام شود. در این کتاب، با استفاده از استانداردهای خانوادگی ASME و API که به عنوان برخی از مراجع فنی بین‌المللی پذیرفته شده‌اند و در صنایع بهره‌برداری ایران نیز مستقر می‌باشند، الگویی برای تخمین عمر باقیمانده سیستم‌های خورده شده لوله‌کشی و خطوط لوله انتقال بر مبنای کاهش ضخامت‌های ناشی از عیوب خوردگی و حداکثر فشار مجاز بهره‌برداری از لوله‌کشی ارائه می‌گردد. همچنین برای هر چه دقیق‌تر شدن تخمین‌های حاصل، از فیلتر یک مدل آماری آنالیز سیستم‌های اندازه‌گیری در مسیر داده‌های حاصل از روش‌های بازرسی فنی و پایش خوردگی بهره‌جویی می‌شود.

در جهان اطلاعات فنی امروز، اتکا به دانش فردی امری بیهوده است و می‌تواند منجر به بروز اشتباه‌های زیادی در انتقال آن شود. بدیهی است در تألیف این کتاب، علاوه بر دانش و تجربه نگارنده، منابع متعددی از جمله متون استاندارد، اسناد و نقشه‌های فنی، کتب تخصصی، مقالات و اطلاعات مندرج در سایت‌های اینترنتی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به علت تعدد این منابع از ذکر نام این

منابع و نویسندگان آنها خودداری می‌شود. بر خود لازم می‌دانم ضمن تشکر صمیمانه از تمام محققان و مؤلفان منابع مذکور، برای استفاده از دانش آنها کسب اجازه کنم. امیدوارم در برخی موارد که مستقیماً از مندرجات این منابع استفاده شده است (مانند معرفی روش PAUT)، موجب عدم رضایت مؤلفان مذکور نشده باشد.

در نهایت، از تمامی متخصصین و خوانندگان این کتاب استعفا دارم در صورت مشاهده هر گونه کوتاهی و یا خطای فنی احتمالی، بنده را مورد عفو قرار دهند و با راهنمایی و تذکرات سازنده خود یاری نمایند.

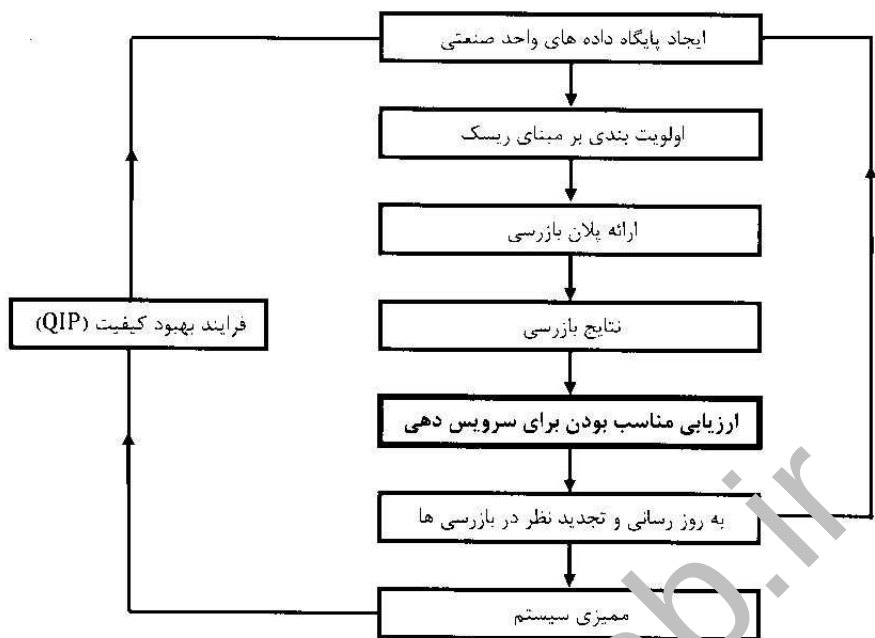
با سپاس

سید علی سیدی‌پور

مقدمه

در صنعت نفت و سایر صنایع مرتبط با آن، با تعدد کارخانه‌ها، حجم فراوان سیستم‌های لوله‌کشی و گستردگی و تنوع طیف مواد و محیط‌های خورنده مواجه هستیم. بر این اساس، برای صاحبان صنایع و بازرسان و کارشناسان خوردگی این سؤال مطرح می‌شود که: با وجود چنین حجم خوردگی، تا چه زمانی می‌توانیم به برداری ایمن از تأسیسات خود ادامه دهیم؟

پاسخ این سؤال توسط چند روش‌های پایش و بازرسی خوردگی با تکنیک ارزیابی تناسب برای سرویس‌دهی (Fitness For Service, FFS) داده می‌شود. این تکنیک در واقع عبارتست از آنالیز مهندسی تجهیزات برای تعیین ادامه‌ی قابلیت آنها در سرویس. برای سالیان متمادی، تناسب و اجازه ادامه کار یک صنعت بر اساس الزامات حین ساخت آن سنجیده می‌شد، یعنی الزامات دستورالعمل‌ها، استانداردها و نقشه‌های حین ساخت. بازرسان سعی می‌کنند بازرسی خوردگی بر اساس روش‌های سنتی کنترل کیفیت، به خود تنها اجازه اعلام صریح تخریب را در دو وضعیت مطلق تأیید (Accept) و یا مردود بودن تجهیزات (Reject) می‌دادند. بازرسان همواره سعی می‌کردند که خود را در محدوده امن حقوقی حفظ کنند و به همین خاطر از درگیر کردن خود در چالش خلیل وضعیت فعلی تجهیزات خودداری می‌کردند. البته این روش بازرسی در مراحل بازرسی حین ساخت تجهیزات ضروری است. ولی با گذشت زمان، این شیوه ناکارآمدی خود را برای بازرسی‌های بهره‌داری نشان داد. صاحبان صنایع تمایل ندارند که با یک اعلام مردود بود وضعیت کیفی هر تجهیز از ایمنی بازرسان، روند تولید را متوقف و بلافاصله شروع به تعمیر و یا تعویض تجهیزات معیوب کنند. واقعاً چه لزومی به این تعمیرات است اگر یک صنعت بتواند تا مدتی با وجود تعدادی عیب در تجهیزاتش به کار خود ادامه دهد؟ در صورت ادامه بهره‌برداری، تا چه زمانی می‌توانیم تعمیرات را به تأخیر بیندازیم؟ پاسخ این سؤال واقع‌گرایانه، اهمیت شیوه‌های جدید بازرسی و تحلیل خوردگی و در نتیجه، ارزیابی‌های FFS را نشان می‌دهند. جایگاه این تکنیک در میان مراحل بازرسی بر مبنای ریسک در شکل یک نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱ مراحل اجرای یک سیستم کامل بازرسی بر مبنای ریسک

نرخ واقعی تخریب تجهیزات، از بررسی به هم کنش مواد، محیط فرایند، شرایط عملیاتی و حالت تنش قابل محاسبه است. عمده ترین معیارهای تخریب در صنعت نفت عبارتند از: نازک شدن و کاهش ضخامت (عمومی، موضعی و حفره دار شدن)، ترک ها (میکروتُرک، ترک منتهی به سطح، ترک زیرسطحی)، میکرو حفره، تغییرات متالورژیکی، تغییرات بعدی، تاول زدن و تغییرات در خواص مواد. اطلاعات لازم برای شروع این ارزیابی، داده های حاصل از روش های صنعتی و کاربردی پایش خوردگی، آزمون های غیر مخرب و شرایط عملیاتی سیستم PIPING است. نکته مهم در تمامی روش های آماری، عدم امکان اطمینان کامل به داده ها است. علت این موضوع، وجود خطاهای متعدد در روش های استخراج و جمع آوری اطلاعات می باشد که مهندسین را همواره ناچار می کنند ارزیابی های خود را با در نظر گرفتن ضریب خطاهای مختلف انجام دهند. با این که معمولاً از ضریب خطاها، بطور سخت گیرانه و اندکی غیر واقعی در نظر گرفته می شوند، ولی باز هم با توجه به هزینه های فراوان تخمین های غیر واقعی برای صنایع، می توانند پدیده ای نه چندان مطلوب باشند.

روش های ارزیابی و تحلیل مورد استفاده در نرم افزارهای مورد استفاده توسط شرکت های بزرگ و بین المللی، گران قیمت و پرهزینه هستند و گاهی از اطلاعات روش ها و تکنولوژی هایی بهره می جویند که در صنعت کشورهای در حال توسعه و یا توسعه نیافته، بسیار جوان و یا حتی ناشناخته اند. از سوی دیگر، با توجه به نقاط قوت و ضعف روش های بازرسی از سیستم های لوله کشی و خطوط لوله انتقال، در

فقدان چنین نرم افزارهایی معمولاً مهندسین ارزیابی های خود را با تکیه بر داده های ضخامت سنجی های دستی و یا نیمه خودکار، که معمولاً در هر سایت و تأسیسات صنعتی در دسترس است، انجام می دهند. این تکیه انحصاری بر روش های دستی، موجب بروز خطاهای فراوان در خروجی ارزیابی ها تخمین عمر انجام شده خواهد شد. علاوه بر این، امروزه در داخل کشور، از روش های بازرسی متنوعی بهره جویی می شود که ضخامت سنجی های دستی، تنها یکی از این روش ها تلقی می گردد. بنابراین، برای هرچه واقعی تر، جامع تر و قابل اتکاءتر نمودن ارزیابی ها، ضروری است از نقطه نظر بهره وری اقتصادی و در دسترس بودن روش های متنوع بازرسی فنی و پایش خوردگی، از جدیدترین روش های صنعتی بازرسی فنی برای تأمیر داده ها استفاده نماییم و علاوه بر آن، هرکجا لازم و کارآمد بود از ضرایب تصحیح مناسب برای افزایش دقت در بررسی ها بهره جویی کنیم. در این کتاب، برای نخستین بار، برای به حداقل رسانیدن خطاهای داده های منتج از گزارش های بازرسی فنی و پایش خوردگی، به معرفی و استفاده مهندسی از روش آماری "ارزیابی سیستم اندازه گیری" که یکی از تکنیک های مورد استفاده در مهندسی صنایع برای ارزیابی صحت کیفی مجموعه ای از داده ها است، پرداخته می شود. بر این مبنا، می توانیم با اطمینان هر چه بیشتر ارزیابی و تخمین های مهندسی را انجام دهیم.

تلاش شده است این کتاب به یادگاری تألیف شود که بتواند علاوه بر استفاده مهندسین، برای دانشجویان و محققان علاقه مند نیز قابل بهره جویی باشد. بیشتر روش ها و تکنیک های شرح داده شده در این کتاب، از میان روش های دارای قابلیت اطمینان کمتری انتخاب شده اند. علاوه بر این، بررسی و استفاده از مدل های آماری و ریاضیاتی برای آنالیز، گزینش و تصحیح داده های ورودی پایش خوردگی و NDT، موجب افزایش ضریب اطمینان و صحت ارزیابی ها از وضعیت سیستم های دارای لوله (لوله کشی های صنعتی درون سایت ها و خطوط لوله انتقال بین سایت ها) می گردند.

لازم به توجه است از این پس، به علت سادگی و خلوص ساری مطالب، به جای عبارت "سیستم های لوله کشی" و یا "خطوط لوله انتقال"، در متن از عبارت "سیستم" استفاده خواهد شد.