مدونة الجيوهندسي العربي
Arabian Geoengineer e-Blog
العدد (1) خريف 2020
Issue No. 1: Autumn 2020
Arabic Researcher ID
Researcher ID: arid.my/0001-1483

تطبيقات كواشف الغاز العاملة بالأشعة تحت الحمراء في صناعة النفط والغاز

أسامة أبو لبدة

برنامج إجادة الدولي للتعليم والتدريب التقني – ليبيا، ص. ب 135 مدينة صبراتة

1 مقدمة

تمتلك كواشف الغاز العاملة بالأشعة تحت الحمراء إمكانات عظيمة على الأصعدة التقنية، والعملانية، والجدوى الاقتصادية في عمليات الرصد والقياس والمراقبة. ولذلك فإنها أصبحت أدوات شائعة في التطبيقات المختلفة لصناعة النفط والغاز، وما زالت محاولات إضفاء التحسينات عليها مستمرة لرفع كفاءتها وتحقيق أقصى استفادة ممكنة من إمكاناتها.

بعد مناقشتنا في الجزء الأول من مقالتنا المبدأ العام لمستشعرات النفط والغاز وفكرة عملها الأساسية، نستعرض بإيجاز في الجزء الثاني من المقالة بعضا من التطبيقات الصناعية لكواشف الغاز تحت الحمراء ضمن أربعة عمليات نفطية مختلفة، وهي: عمليات التكرير والتصنيع البتروكيماوي، عمليات الغاز الطبيعي والطاقة، وعمليات الصيانة وإنفاذ القانون، وإدارة التسرب الغازي. وفي ختام المقالة نعرج سريعا على أبرز التوجهات العالمية في تطوير نظم الكواشف وتطبيقاتها المستقبلية في صناعة النفط والغاز.

2 عمليات التكرير والتصنيع البتروكيماوي

يتضمن تكرير النفط عمليتين أساسيتين، وهما الفصل والتحويل. يجري في عملية الفصل تجزئة النفط الخام إلى منتجات صغيرة الحجم، والتي يمكن أن تكون مفيدة وقابلة للبيع المباشر، أو يمكن معالجتها بطرق المعالجة الثانوية. أما في عملية التحويل فإننا نقوم بتغييرات على الجزيئات الهيدروكربونية لإنتاج نواتج ذات خصائص مناسبة تؤهلها للمزج مع منتجات نهائية.

تستجيب كاميرا الأشعة تحت الحمراء استجابة عالية لمعظم النواتج النهائية الخفيفة والنواتج المتوسطة الموجودة في محطات تكرير الوقود، حيث بمقدور الكاشف رصد النواتج الغازية والسائلة المتجزئة من النفط الخام. ومن الشائع في عمليات التصنيع البتروكيماوي أن تقوم المنشأة بإنتاج مواد كيماوية هيدروكربونية ومواد كيماوية غير هيدروكربونية باستخدام خزين تغذية أساسي مشتق من عمليات تكرير الزيوت النفطية (إما بعملية التحويل أو الفصل). بالنسبة للنواتج الهيدروكربونية، فيمكن للكواشف إبصار معظمها ضمن حزمتي الأشعة تحت الحمراء المتوسطة والبعيدة. أما النواتج غير الهيدروكربونية أو غير العضوية فهي غالبا مواد خليطة من عمليات معالجة متصلة أو متقطعة، وتعطي نواتج عالية النقاوة.

أبو لبدة ©2020

بعض هذه المواد تستجيب لها الكواشف العاملة ضمن حزمتي الأشعة تحت الحمراء المتوسطة والبعيدة. تسمح هذه الاستجابة لكلا النوعين من النواتج في التعرف على كميات كل ناتج، ورصد وجوده بدقة، وتقييم أداء عملية الإنتاج وجودة المنتج في المصنع.

3 عمليات الغاز الطبيعي والطاقة

يتضمن تصنيع الغاز الطبيعي مراحل مختلفة من إنتاج وتخزين ونقل وتوزيع. ويتكون الغاز الطبيعي أساسا من الميثان والإيثان، وكلاهما سهل الرصد من قبل كواشف الأشعة تحت الحمراء المتوسطة. لذا فهي تقنية مفيدة في رصد التسرب الغازي المحتمل حدوثه في أي مرحلة من المراحل المذكورة، مثل مراقبة التسربات في شبكة الإمداد التجاري للمستخدم النهائي. كما يُستخدم الغاز الطبيعي أحيانا كوقود في محطات توليد الطاقة العاملة بحرق الغاز. وهنا فإن كواشف الغاز العاملة ضمن الأشعة تحت الحمراء المتوسطة تعتبر مناسبة أيضا لرصد التسربات الغازية المستترة في محطات توليد الطاقة. كما جرت العادة في محطات توزيع الطاقة الكهربية عالية الجهد استخدام تراكيب ضخمة يدخل في تصنيع مادتها أنواع من الغازات العازلة، مثل غاز سداسي الفلور الكبريتي (SF_6) الذي يمنح المعدات ثباتا وحماية أفضل ضد التلف وظروف التجوية. إلا أن هذا الغاز معروف بكونه أحد الغازات التي تسرع من احترار الكوكب بمعدلات عالية، حيث أن إطلاق 1 كغم منه إلى الغلاف الجوي يعادل وزن 23,900 كغم من غاز ثاني أكسيد الكربون، وفترة مكوثه في الغلاف الجوي تصل إلى 3,200 سنة. هنا، نجد أن كواشف الأشعة تحت الحمراء البعيدة تعتبر مثالية لرصد هذا الغاز، إذ أنها ناجحة إلى حد بعيد في تقفي أية تسربات منه في محطات الطاقة، وبذلك يمكن تقليل البصمة البيئية للمنشأة، وحماية الكوكب، والمحافظة على استدامة نظمه الطبيعية.

4 عمليات الصيانة وإنفاذ القانون

تتعهد بعض شركات المقاولات بتقديم خدمات الصيانة الخاصة في قطاع النفط والغاز، وتبدي اهتمامها الملحوظ بتوظيف كاميرات الأشعة تحت الحمراء في تنفيذ عقود الصيانة الموكلة إليها. ومن ضمن هذه الخدمات تنفيذ دوريات منتظمة لتفتيش ومكافحة التسربات الغازية ضمن وحدات الخدمة المختلفة في المنشأة. تعتمد الشركات حاليا على طرق الكشف غير التصويرية في رصد التسربات، وهذه التقنيات تخضع في الوقت الراهن إلى تحسينات متسارعة يتوقع منها استحداث تصاميم متطورة مع مرور الزمن ذات كفاءة وقدرات متقدمة في كشف أنواع عديدة من الغازات، بدافع حماية الصحة والسلامة العامة والبيئة وحفظ الموارد. ويجري حاليا في العديد من البلدان إنفاذ القوانين والتشريعات الخاصة بالبيئة والسلامة باستخدام تقنية كواشف الغاز تحت الحمراء التي تمكن الخبراء بواسطتها من مراقبة العمليات الصناعية على مراحلها المختلفة، ورصد المخالفات والخروقات، والتحقق من المطابقة مع المعايير والنظم الضابطة، وكذلك في المراجعة والتدقيق في الأداء الخاص بإدارة الانبعاثات البيئية، وتحرير التقارير بنتائج المراقبة تمهيدا لرفعها إلى السلطات الرقابية. وتركز عمليات المراقبة تحديدا على الانبعاثات الغازية من المركبات العضوية الطيارة (VOCs) وغاز سداسي الفلور

الكبريتي (SF_6) بسبب سميتها الشديدة، وخطرها على الأنظمة الإيكولوجية، ودورها في احترار مناخ الكوكب. وفي حالة رصد تسرب ما في المنشأة، فإن القوانين تجبر الشركة على إصلاح منطقة التسرب فورا وبإرادتها، وإلا تعرضت لغرامات مالية أو إنذارات بإنزال عقوبات منصوص عليها في القوانين النافذة بالبلاد. وبذلك، فإن كواشف الأشعة تحت الحمراء تعتبر أداة ثمينة في أيدي المشغلين تعينهم على درء المخاطر المحتملة، وتفادي العقوبات الجزائية، والاحتفاظ بسمعة طيبة وسجل مخالفات نظيف لمنظمة العمل طيلة فترة التشغيل.

5 إدارة التسرب الغازي

يندرج تحت هذا النوع من العمليات مجموعة كبيرة من الخدمات التي تهتم بإدارة الكوارث النفطية في موقع العمل. وتساهم كواشف الأشعة تحت الحمراء في رفع فعالية إدارة الكوارث بطرق مختلفة. تمتاز كواشف الأشعة تحت الحمراء المتوسطة عموما باستجابة جيدة ضمن الحزمة الموجية 3-5 مايكرومتر، وهي الحزمة الحساسة لمعظم الغازات والأبخرة الموجودة في الصناعة البتروكيماوية (شكل 1). تستطيع هذه الكواشف رصد أنواع عديدة من أبخرة المواد البترولية، مثل: البنزين (Benzene)، والبيوتان (Butane)، والإيثان (Ethane)، وإيثيل البنزين (Ethylbenzene)، والإيثيلين (Ethylene)، والهبتان (Heptane)، والهكسان (Hexane)، والأيزوبيرين (Isoprene)، والميثان (Methane)، والميثانول (Methanol)، والأوكتان (Octane)، والبنتان (Pentane)، والبروبان (Propane)، والبروبيلين (Propylene)، وميثيل إيثيل الكيتون (Methyl Ethyl Ketone)، والطولوين (Toluene)، والزايلين (Xylene). أما كواشف الأشعة تحت الحمراء البعيدة، فهي تعمل ضمن المدى الطيفي 10-11 مايكرومتر. وضمن هذا المدى يكون الكاشف شديد الحساسية لغاز سداسي الفلور الكبريتي (SF_6) وغيره من الغازات المستخدمة في صناعة الكيماويات وغازات التبريد والتكييف (شكل 2). وتعتبر هذه الكواشف شائعة الاستخدام في مراحل التصنيع وليس مراحل الصيانة. ويفيد استخدامها في تقليل معدلات العطب، والتحقق من جودة المنتج النهائي، وتقليل انبعاث الغازات الضارة للغلاف الجوي. من أشهر الغازات التي ترصدها هذه الكواشف بفاعلية هي: الأمونيا اللامائية (Anhydrous Ammonia)، إيثيل سيانوأكريلات (Ethyl Cyanoacrylate ('Superglue'))، ثاني أكسيد الكلور (Chlorine Dioxide)، حمض الخل (Acetic Acid)، الفيرون-12 (FREON-12)، الإيثيلين (Ethylene)، ميثيل إيثيل الكيتون (Methyl Ethyl Ketone). ويتسرب أحيانا الغاز من مناطق الضعف في المعدات، أو بسبب التآكل في مناطق العزل، أو أثناء مراحل إغلاق وتشغيل وحدات المنشأة.

شكل 1: مرئية بالأشعة تحت الحمراء المتوسطة لغاز متسرب من قيّاس الضغط

شكل 2: مرئية بالأشعة تحت الحمراء البعيدة لتسرب سداسي الفلور الكبريتي من عازل الجهد العالي

أبو لبدة ©2020

1-5 التسرب الغازي من مصادر الضعف الميكانيكي

يمكن لكواشف الأشعة تحت الحمراء المتوسطة أن تستخدم في رصد الغاز المتطاير من مصادر مختلفة في المنشأة البتروكيماوية، ومن أهم الأماكن التي يمكن للغاز أن يتسرب منها هي ما يلي:

أ- أطراف الوصل، والحواف المشفهة

ب- القابس والساطم

ج- الجُلبة (القارنة)

د- الفتحات والخروم

هـ- أغطية الصرف والتفريغ

و- جذع الصمام

ز- المكائن

ح- مانعات التسرب في المضخات

ط- صمامات الإمرار

ي- مرابط العدة

أما مصادر تسرب غازات العزل والتبريد التي ترصدها كواشف الأشعة تحت الحمراء البعيدة فهي تتوزع على مسارات محدودة ضمت معدات توزيع الكهرباء، ومن أشهرها حواف الوصل، ووصلات الازدواج، وأقراص القطع، وجذوع الصمامات. وقد ينشأ التسرب من هذه المصادر بسبب سوء تثبيتها، أو تضررها أثناء عمليات الصيانة، أو فشل الأجزاء العازلة لانقضاء عمرها التشغيلي. وفي المرافق البتروكيماوية المعقدة تزداد فرص حدوث التسرب من مواقع مختلفة وعديدة. وتسمح كاميرا الأشعة تحت الحمراء المتوسطة للمستخدم بتفحص عدد كبير من المصادر المحتملة للتسرب في وقت وجيز وعن بعد مسافات معتبرة. وهي بذلك طريقة تتفوق على الطرق التقليدية المعتمدة على نظام التنشق، التي تتطلب من الفاحص أن يكون بالقرب من مصدر التسرب، أو الدخول إلى موقع الفحص شخصيا، وهو ربما ما لا يتيسر على الفاحص القيام به أحيانا، وقد يستهلك مسح المنشأة وقتا طويلا ومالا كثيرا.

2-5 التسرب الغازي نتيجة التآكل في مناطق العزل

قد تنشأ التسربات الغازية في مواقع يصعب التنبؤ بوجودها في المنشأة، مثل مناطق العزل الحراري في المعدات التي تعتبر مناطق حساسة للمياه. إذ يستطيع الماء أن يخترق جسم المادة العازلة عندما تكون طبقة التغليف الخارجية للعازل غير محكمة التثبيت، أو مصابة بأضرار. عندما ترتفع حرارة جسم المعدة، فإن الماء سيسخن؛ وينتج عن ذلك منطقة تآكل تحت العازل لا تراها العين البشرية بسهولة. ومع مرور الزمن، سيتآكل سطح المعدن بسرعة، حتى يصل إلى مستوى حرج يبدأ عنده بتسريب الغاز. وهذا التسرب يمكن رصده عن بعد مئات الأمتار باستخدام كاميرا الأشعة تحت الحمراء، كما سبق شرحه.

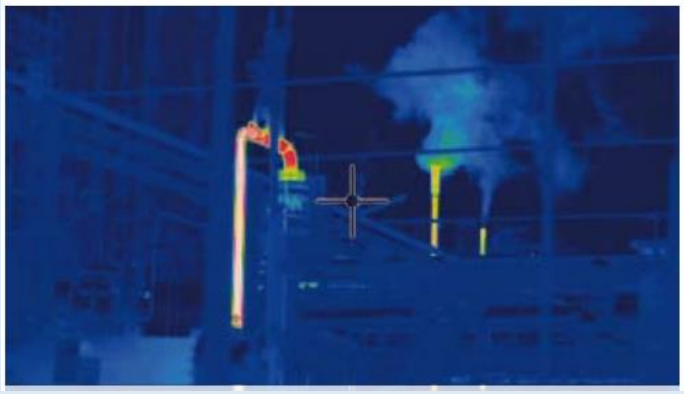
3-5 التسرب الغازي أثناء فترات الإغلاق والتشغيل

تقرر طواقم التفتيش بين فترة وأخرى إجراء فحص دوري (مسح شامل) على وحدات المنشأة البتروكيماوية بهدف رصد أية تسربات مستترة، أو قياس انبعاثات المواد الكيماوية الطيارة في الغلاف الجوي. وفي هذا الإجراء، يعمد طاقم التفتيش في العادة إلى إغلاق وحدات المنشأة أولا، ومن ثم فتحها مجددا، وإجراء مسح دقيق لأي تسرب منبعث من المعدات. ويستهدف طاقم التفتيش عموما من هذا الإجراء التحقق من فرص نشوء مخاطر محتملة أثناء عملية تشغيل الوحدات ناتجة عن التباين الحراري النسبي بين مرحلتي الإغلاق والتشغيل، والذي بدوره قد يشجع على حدوث تسرب غازي غير ظاهر في المعدات، خصوصا في الأجزاء ضعيفة الربط أو الأجزاء المعطوبة. وقد أثبتت التجارب أن استخدام كواشف الأشعة تحت الحمراء المتوسطة في هذه المرحلة (وقت الإغلاق والفتح) فعالٌ في تجنيب فريق التفتيش مخاطر التسرب من الوحدات لحظة تشغيلها، ويحافظ على سلامة المنشأة (شكل 3). أما كواشف الأشعة تحت الحمراء البعيدة فتعتبر فعالة جدا في رصد التسربات الدقيقة. فمثلا، عند انخفاض قيم الضغط في مفاتيح الغلق والربط والمحولات الكهربية، فإن ذلك قد يؤدي إلى تولد تسربات صغيرة جدا يصعب رصدها بدقة في الموقع. بالإضافة إلى ذلك، فإن درجات حرارة تشغيل المعدات قد تكون قريبة من درجة المحيط من حولها، وهو ما يؤدي إلى وجود تمايز حراري ضئيل بين التسرب والخلفية يصعب بواسطته رصد الغاز السروب. لكن كاميرات الأشعة تحت الحمراء البعيدة تستطيع رصد هذه التسربات الدقيقة بمعدلات تصل إلى 0.25 كغم/سنة، وهي أدوات ناجحة في عملها بالمحطات الصغيرة المثبتة داخل الأبنية وخارجها. وكما الحال مع كواشف الأشعة تحت الحمراء المتوسطة، تعتبر كواشف الأشعة تحت الحمراء البعيدة كفؤة في العمل عن بعد، ولا تتطلب الوصول إلى جميع مواقع التسرب، وفوق هذا تسمح باستكمال مسوح التسرب كاملة عندما يتم تغذيتها بما يكفي من الطاقة.

إن كلا النوعين من الكواشف تحت الحمراء (المتوسطة والبعيدة) يحققان لنا أهدافا مشتركة، تتمثل في حماية البيئة، وتقليل الفاقد في المنتج، والتخلص من التسربات القابلة للالتهاب. إلا أن ما يميز كواشف الأشعة تحت الحمراء البعيدة هو قدرتها المتفوقة في رصد الغازات السامة، نظرا لحساسيتها العالية تجاه أنواع الغازات المضرة بصحة الإنسان

(شكل4)؛ لذلك فهي تلبي هدفا آخر إلى جانب الأهداف السابقة عندما تصبح سلامة الطاقم البشري ذات أولوية قصوى في أجندة برامج الرصد، وتوضع فوق أية اعتبارات أخرى.

شكل 3: مرئية بالأشعة تحت الحمراء المتوسطة للانبعاث الحراري من فرن معالجة بتروكيماوي



شكل 4: مرئية بالأشعة تحت الحمراء البعيدة للغازات المنبعثة من أنابيب التهوية

6 الاتجاهات العالمية في تطوير كواشف التسرب الغازي

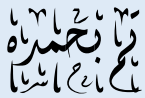
ينصب الاهتمام العالمي في الوقت الراهن على تطوير تقنيات تصوير راقية ومتخصصة برصد التسربات الغازية تعظم من جدوى برامج المسح والمراقبة في المنشآت النفطية. ومن أبرز هذه التطورات هو إدماج تكنولوجيا الطائرات المسيرة عن

أبو لبدة ©2020

بعد مع نظم كواشف الغاز تحت الحمراء. وفي هذا التصميم، يتم اعتبار الطائرة المسيرة هي المنصة الرئيسة للعمل، ويتم تثبيت كاشف تسرب الغاز على المنصة ليعمل كنظام مختبر طيار، يجري التحكم بخط طيرانه وارتفاعه والتصوير عن بعد بجهاز تحكم أرضي يقوده مشغل بشري. ويسمح هذا التصميم بتصوير جميع أجزاء المنشأة النفطية، وتوفير تغطية شاملة لكل نقاط المعاينة التي يرغب الفاحص بأخذ قراءات عندها، بغض النظر عن إمكانية الوصول إلى الموقع. وقد يصل مدى تحليق الطائرة إلى مسافات أبعد بكثير مما قد تقدر عليه الكواشف المحمولة يدويا في الموقع، وقد تصعد الطائرة بالكاشف إلى ارتفاعات مختلفة ليتم تصوير المنظر من زوايا مختلفة وفق رغبة المستخدم. وهذا يساعد الفاحص على اختيار أفضل المواقع للتصوير وإبصار الظواهر التي يريدها وإجراء قياسات عن بعد عليها. ويمتاز هذا التصميم أيضا بسهولة فك وتركيب أكثر من نوع واحد من كواشف التسرب؛ مما يجعله نظاما أكثر عملانية ومرونة في إنجاز المهمة مقارنة بالنظم التقليدية من الكواشف. فضلا عن أن نظام المختبر الطيار يعتبر آمنا على سلامة الفاحص الشخصية لسهولة تحكمه بكامل العملية عبر لوحة التحكم اليدوية. وقد أثبتت التجارب السابقة مع نظام الكواشف الطيارة في بعض الدول النفطية الفوائد الكثيرة لعملية دمج تقنيتي الطائرات المسيرة والكواشف تحت الحمراء في تحقيق أهداف مراقبة الانبعاثات والتسرب الغازي. فعلى سبيل المثال، بينت التجربة ذاتها في محطة الحسن شاه للغاز بدولة الإمارات العربية المتحدة أن الكاشف الطيار استطاع قياس تركيز الغاز المتسرب بدقة كبيرة تقارب التركيز الحقيقي في الواقع. هذا ويعتقد أن استمرار التحسينات على هذه النظم لجعلها نظما متعددة الوظائف قد يضع نظام الكواشف الطيارة في مراتب متقدمة، وقد تؤهلها قريبا لأن تحل محل النظم المعمول بها حاليا.

المراجع

1. Craig O'Neill and Ron Lucier (2018). Understanding cooled vs. uncooled optical gas imaging. Available: www.flir.com/ogi. Accessed: May 10th 2019
2. FLIR Systems Inc. (2017). Environmental Protection With A FLIR Optical Gas Imaging Camera. Available: www.flir.eu/OGI. Accessed: May 12th, 2019
3. Oil & Gas Online. (2018). The Long Wave Gas Detection Camera. Available: www.oilandgasonline.com. Accessed: May 10th 2019



أبو لبدة ©2020