الدروس المستفادة

من شركاء ستار (STAR) الغاز الطبيعي

الغاز الطبيعي
الوكالة البيئية (EPA) لمانعي التلوث

الولايات المتحدة
وكالة الحماية البيئية

USING PIPELINE PUMP-DOWN TECHNIQUES TO LOWER GAS LINE PRESSURE BEFORE MAINTENANCE

استخدام تقنيات الضخ الزائد في خط الأنابيب لتقليل ضغط خط الغاز قبل إجراء الصيانة

ملخص تنفيذي

يقوم مشغلوا أنظمة خطوط أنابيب الغاز الطبيعي على نحو روتيني بتخفيض ضغط خط الأنابيب وتصريف الغاز من أقسام خطوط الأنابيب من أجل ضمان ظروف العمل الآمنة أثناء القيام بأنشطة الصيانة والإصلاح. ومن المعتاد أن يقوم المشغلون بسد أصغر جزء خطي محتمل من خط الأنابيب وإزالة الضغط منه عن طريق تصريف الغاز إلى الغلاف الجوي. وفي عام ٢٠٠٤، خرجت نسبة تقدر بنحو ١٢ مليار قدم مكعب من الميثان إلى الجو أثناء إجراء عمليات الصيانة العادية وتوقف خط الأنابيب.

يُعد استخدام تقنيات الضخ الزائد لتخفيض ضغط خط الغاز قبل إجراء أنشطة الصيانة والإصلاح يُعد طريقة فعّالة لتقليل الانبعاثات كما تسفر هذه الطريقة عن توفير عوائد اقتصادية كبرى. تتضمن تقنيات الضخ الزائد في خط الأنابيب استخدام الضواغط المتحاذية سواءً كانت وحدها أم مع الضواغط المحمولة. غالبًا بل دائما ما يكون هناك مبرر لاستخدام الضواغط المتحاذية حيث لا تكون هناك تكاليف مالية ويكون العائد فوري. بيد أن فعالية التكلفة الخاصة باستخدام الضاغط المحمول لزيادة معدل استعادة الغاز تعتمد بشكل كبير على عوامل خاصة بالمواقع وعلى التكاليف التشغيلية.

وبغض النظر عن تقنية الضخ الزائد المختارة، فإن تخفيض معدلات الانبعاثات يتناسب بشكل مباشر مع قدر الضغط الذي يتم تخفيضه من خط الأنابيب قبل حدوث التصريف. وعادة، يمكن استعادة ما يزيد على ٩٠% من الغاز في خط الأنابيب لبيعه بدلاً من خروجه إلى الجو. تكون تقنيات الضخ الزائد لخط الأنابيب ذات جدوى اقتصادية أكثر بالنسبة للحجم الأكبر وخطوط الغاز الأعلى في مستوى الضغط وتعمل بطريقة أكثر فعالية مع أنشطة الصيانة المخطط لها والحالات التي يكون بها مضاعفة كافية لتوصيل الضاغط المحمول.

لقد حقق الكثير من شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي فوائض اقتصادية كبرى من جراء استخدام تقنيات الضخ الزائد. وفي عام ٢٠٠٤، وفر شركاء النقل لشركة ستار (STAR) للغاز الطبيعي ما إجماليه ٤,١ مليار قدم مكعب من الغاز باستخدام تقنيات الضخ الزائد. وبناءً على قيمة الغاز الذي تم ادخاره والتي تقدر بنحو ٧ دولارات/ألف قدم مكعب بما يعادل ما يزيد على ٢٨ مليون دولار.

طرق تقليل انبعاثات غاز الميثان	حجم الغاز الطبيعي الذي يتم توفيره (ألف قدم مكعب/عام)	قيمة فوائض الغاز الطبيعي (دولار/عام)	تكاليف التطبيق (الدولار)	العائد (شهور)
الضخ الزائد لخطوط الغاز قبل الصيانة	*٢٠٠٠٠٠	١٤٠٠٠٠٠ دولار	٩٨٧٥٧ دولار	**١
* بناء على التجارب التي يرفع بها شركاء ستار (STAR)للغاز الطبيعي تقريرًا سنويًا والتي تتنوع بشكل كبير. تتضمن العوامل المؤثرة على حجم الغاز المدخر وتكلفة التطبيق وطول أو ضغط خط الأنابيب أو نوع الضاغط وعدد المواقع أو حالات الضخ الزائد. تشتمل البيانات على النتائج الخاصة بكل من الضواغط المتحاذية والمحمولة.				
** يكون عائد الضواغط المتحاذية فوريًا حيث لا تكون هناك تكاليف مالية.				

هذه سلسلة واحدة من "ملخصات الدروس المستفادة" التي أعدتها "وكالة الحماية البيئية" (EPA) بالتعاون مع جهات صناعة الغاز الطبيعي بخصوص التطبيقات الفائقة ل"أفضل ممارسات الإدارة" (BMPs) والفرص المذكورة من جانب الشركاء (PROs) التابعة لبرنامج ستار للغاز الطبيعي Natural Gas STAR.

الدروس المستفادة

الخلفية الفنية

تعمل شركات نقل وتوزيع وإنتاج الغاز الطبيعي على نقل الميثان والهيدروكربونات الخفيفة الأخرى من خلال خطوط أنابيب الغاز المضغوط. يمكن أن تحتاج هذه الخطوط إلى إصلاحات أو صيانة على مدار عُمر استخدامها نتيجة للتآكل الداخلي والخارجي أو لتسريب الحشية أو اللحام، أو التعطل الناتج عن المواد المعيبة أو التلف الناتج عن عوامل خارجية. يمكن تصنيف الإصلاحات في خط الأنابيب إلى أربع فئات عامة:

- ★ الفئة ١: الإصلاحات غير الطارئة التي لا تتضمن التعطيل التام للخدمة.
- ★ الفئة ٢: الإصلاحات غير الطارئة التي تتضمن التعطيل للخدمة.
- ★ الفئة ٣: الإصلاحات الطارئة التي تتضمن التعطيل التام للخدمة.
- ★ الفئة ٤: المشروعات واسعة النطاق حيث يتم تشغيل الأنبوب بالتوازي مع أنبوب قائم وتتطلب هذه الإصلاحات التوقف التام للخدمة.

عادة ما تتطلب أنشطة الإصلاحات والصيانة إزالة ضغط خط الأنابيب من أجل إزالة الغاز من القسم المتأثر من الأنبوب وضمان ظروف العمل الآمنة. من بين طرق إزالة الضغط، إغلاق الجزء المتأثر من خط الأنابيب وتصريف الغاز في هذا الجزء إلى الغلاف الجوي. وبدلاً عن ذلك، يستطيع المشغلون استخدام تقنيات الضخ الزائد من أجل تقليل ضغط خط الغاز قبل تصريفه. تعد تقنيات الضخ الزائد بديلاً مفضلاً حيث أنها تتيح الكثير من الغاز لبيعه كما تعمل على تقليل معدلات انبعاث غاز الميثان.

عند تطبيق تقنيات الضخ الزائد في خط الأنابيب، يمكن للمشغلين استخدام نوعين من الضواغط لتخفيض الضغط في خط الأنابيب: الضواغط المتحاذية والضواغط المحمولة. وبناء على الموقف، يمكن أن يستخدم المشغلون الضواغط المتحاذية وحدها دون الضواغط المحمولة.

- ★ **استخدام ضواغط خط الأنابيب المتحاذية لسحب الضغط في إطار حدود معدل الضغط.** في الغالب يكون لضواغط خط الأنابيب المتحاذية معدلات ضغط تصل إلى ٢ إلى ١. يمكن تخفيض ضغط خط الأنابيب إلى ٥٠% تقريبًا من ضغط الخط العامل عن طريق سد الصمام العلوي للجزء المستهدف من الخط مع الاستمرار في تشغيل الضاغط السفلي. يمكن إغلاق الضاغط آنذاك وسد الجزء المتأثر من الخط تمامًا. يكون تخفيض الضغط في الخط إلى النصف غالبًا كافيًا لتركيب الجلبات على الخط التالف. يجب أن يتم إجراء هذا النوع من عمليات الضخ الزائد بطريقة تتماشى مع سياسات إدارة الأمان.
- ★ **استخدام الضاغط المحمول لزيادة تخفيض ضغط خط الغاز.** يمكن للمشغلين أيضًا التفكير في استخدام الضواغط المحمولة من أجل تحقيق تخفيض إضافي بعيدًا عن ذلك الذي يمكن للضواغط المتحاذية تحقيقه. يمكن أن يكون للضواغط المحمولة معدل ضغط يصل حتى ٥ إلى ١. وعند استخدامها مع الضواغط المتحاذية، يمكن أن تعمل الضواغط المحمولة على تخفيض الضغط بنحو ٩٠% من القيمة الأصلية دون تسرب. يمكن استخدام الضواغط المحمولة بأمان فقط عند تجميع صمام القفل السفلي بشكل كاف. ومرة أخرى، يجب اتباع سياسات الأمان جيدًا عند استخدام الضاغط المحمول.

رغم أن الضاغط المحمول يمكنه استعادة نسبة إضافية من غاز خط الأنابيب الأصلي من أجل بيعه بنسبة تصل إلى ٤٠%، فإنه يتم استخدامه بشكل أكثر ملائمة أثناء الصيانة المخططة مثل الإصلاحات في الفئة (١) والفئة (٢). يعود ذلك لصعوبة تأجير أو استئجار الوحدة وإدارتها وإزالة ضغط الخط في الوقت المناسب وبطريقة فعالة التكلفة أثناء حالات الطوارئ. هناك سهولة في إيجاد مبرر لاستخدام الضواغط المحمولة أيضًا عند توقف خدمة أجزاء متعددة من خط الأنابيب، سواء كمشروع منفرد أو كمجموعة من الإصلاحات المتتابعة.

يلخص الرسم التوضيحي (١) تقنيات الضخ الزائد التي يتم العمل بها في مختلف فئات إصلاحات خط الأنابيب.

الرسم التوضيحي (١): قابلية تقنيات الضخ الزائد لخط الأنابيب للتطبيق

وصف قابلية التطبيق	تقنية الضخ	فئة الإصلاح
الفئة ١	المتحاذية والمحمولة	يمكن استخدام هذه التقنيات بشكل كبير مع الفئة (١) والفئة (٢) من الإصلاحات حيث تتضمن هذه الإصلاحات بشكل أساسي المواقف غير الطارئة والصيانة المخططة.
الفئة ٢		
الفئة ٣	المتحاذية فقط	عادة ما تشتمل الفئة (٣) على إصلاحات طارئة مع إلحاح كبير لإعادة خط الأنابيب للخدمة ولا يكون هناك وقت لإدارة الضاغط المحمول
الفئة ٤	المتحاذية فقط	يمكن أن تكون مشروعات الفئة (٤) سريعة مع تشغيل أنبوب جديد محاذيًا لخطوط الأنابيب الحالية. تكون هناك فرص لاستعادة الغاز من الخطوط القديمة أثناء بدء تشغيل الخط الجديد، لكن يجب تنسيق ذلك بحرص شديد نتيجة لحجم المشروعات.

الدروس المستفادة

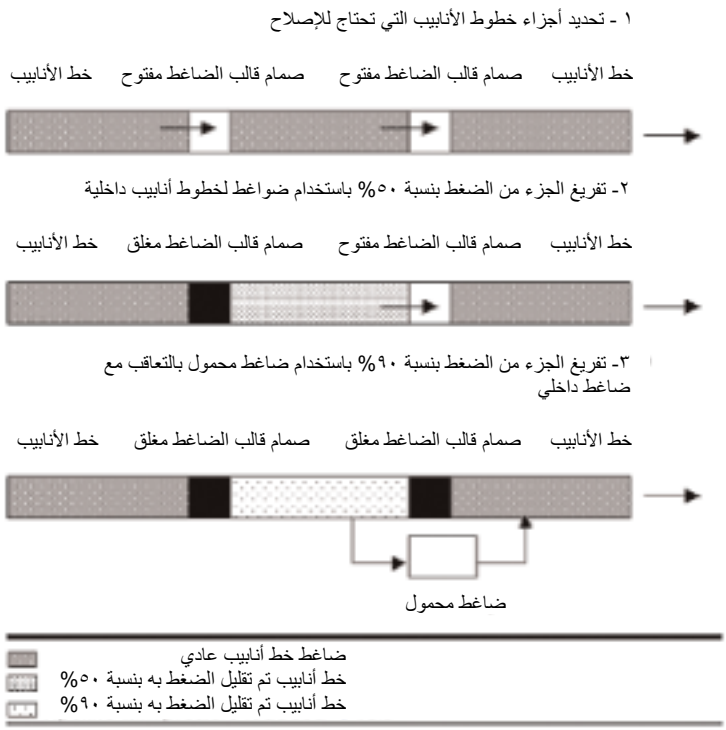
يوضح الرسم التوضيحي ٢ التعاقب الرئيسي للأحداث الخاصة بإزالة الضغط من الجزء المتأثر من خط الأنابيب.

المزايا الاقتصادية والبيئية

يمكن أن تحقق الشركات مزايا اقتصادية وبيئية كبرى من وراء استخدام الضواغط السفلية المتحاذية والمحمولة لتقليل ضغط الغاز قبل إجراء أنشطة الصيانة والإصلاح، تشتمل الفوائض المحتملة على ما يلي:

- ★ استعادة وبيع الغاز الطبيعي الذي تم تنفيسه للهواء الخارجي. وفي حالة استخدام خطوط أنابيب الإنتاج، قد يحتوي بخار الغاز على هيدروكربونات ثقيلة مفيدة.
- ★ تقليل معدلات انبعاث غاز الميثان.
- ★ تقليل الروائح والضوضاء المزعجة.
- ★ الحد من انبعاثات ملوثات الهواء الخطيرة أو تخفيضها بطريقة ملحوظة وخاصة البنزين والتولوين والإيثيل بنزين والزيلين (BTEX).

الرسم التوضيحي (٢) تعاقب أحداث إزالة الضغط



عملية اتخاذ القرار

سبع خطوات لاستخدام الضواغط المتحاذية والمحمولة:

١. قم بتقدير كمية وقيمة الغاز الذي يمكن للضواغط المتحاذية استعادته.
٢. تحقق من الجدوى الفنية لاستخدام الضاغط المحمول.
٣. قم بتحديد حجم الضاغط المحمول المناسب للمشروع.
٤. قم بفحص مدى إتاحة وتكلفة شراء أو استئجار الضاغط المحمول.
٥. قم بتقدير التكاليف التشغيلية المرتبطة باستخدام الضاغط المحمول.
٦. قم بحساب حجم وقيمة الغاز الذي تتم استعادته عن طريق الضاغط المحمول.
٧. قم بتقييم المزايا الاقتصادية لاستخدام الضاغط المحمول بالتعاقب مع الضاغط المتحاذي.

عندما تحتاج خطوط أنابيب الغاز إلى الصيانة أو الإصلاح، يمكن للشركات:

١. تصريف الغاز في الجزء التالف من خط الأنابيب إلى الجو.
٢. استعادة أكبر قدر ممكن من الغاز.

الدروس المستفادة

الخطوة ١: قم بتقدير كمية وقيمة الغاز الذي يمكن للضواغط المتحاذية استعادته، بناءً على معدل ضغط الضواغط السفلية المتحاذية، يمكن استعادة ما يصل إلى ٥٠% من الغاز في خط الأنابيب للمشغل بتكلفة ضئيلة أو دون تكلفة. يوضح الرسم التوضيحي (٣) الحسابات التي يمكن للمشغلين استخدامها لتحديد الكمية الإجمالية للغاز في الجزء المتأثر من خط الأنابيب وكمية وقيمة الغاز الذي يمكن استعادته باستخدام الضاغط المتحاذي/الضواغط المتحاذية.

الرسم التوضيحي (٣) فوائض الغاز الناتجة عن استخدام الضاغط المتحازي

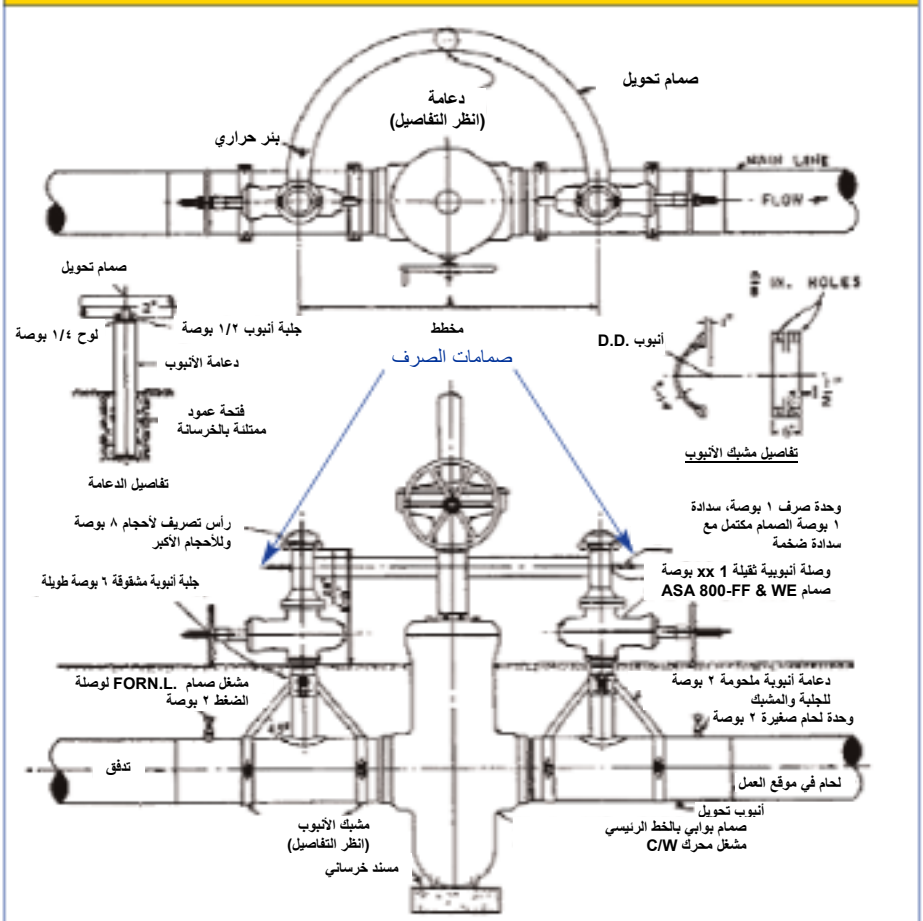
المعطيات:	
L	= طول خط الأنابيب بين صمامات القفل (بالميل).
I	= القطر الداخلي لخط الأنابيب (بالقدم).
P	= الضغط التشغيلي لخط الأنابيب (رطل لكل بوصة مربعة).
Ri	= معدل ضغط الضاغط المتحاذي.
(١)	الحساب: M = كمية الغاز في خط الأنابيب
M	= L × (٥٢٨٠ قدم/ميل) × (I²/4 × Pi) × (١٤,٦٥/P رطل لكل بوصة مربعة) × (١ ألف قدم مكعب/ ١٠٠٠ قدم مكعب).
(٢)	الحساب: Ni = الغاز القابل للاستعادة باستخدام الضاغط المتحاذي.
Ni	= (M/Ri) - M
(٣)	الحساب: Vi = قيمة الغاز الذي تتم استعادته باستخدام الضاغط المتحاذي.
Vi	= Ni × ٧ دولارات/ألف قدم مكعب.

الخطوة ٢: تحقق من الجدوى الفنية لاستخدام الضاغط المحمول. بعد حساب الحجم المحتمل لغاز خط الأنابيب القابل للاستعادة باستخدام الضاغط المتحاذي، يكون على المشغل تحديد ما إذا كان هناك قدرة ميكانيكية لاستخدام الضاغط المحمول أم لا.

يمكن أن يعمل الضاغط المحمول على تقليل ضغط الخط عن طريق نقل ما يصل إلى ٤٠% من الغاز الأصلي المتبقي للجانب المضغوط من صمام النقل، ولكن استخدام الضاغط المحمول لا يكون ممكنًا إلا إذا كانت هناك إمكانية لتوصيل الضاغط ماديًا بخط الأنابيب. يوضح الرسم التوضيحي (٤) مضاعفة فعلية لخط أنابيب الغاز وكحد أدنى، يجب أن تشتمل توصيلات الضاغط المحمول الجيدة على صمامات الصرف، أعلى وأسفل صمام القفل الخاص بالخط الرئيسي. يعتمد الحد الأدنى من حجم صمامات الصرف على حجم الضاغط المحمول. يمكن لأحد الممثلين الفنيين من إحدى الشركات التي تقوم بإيجار أو تصنيع الضاغط المحمول تحديد متطلبات التجميع اللازمة لوحدات بعينها.

الخطوة ٣: قم بتحديد حجم الضاغط المحمول المناسب للمشروع. يتم اختيار الضاغط المحمول ذا الحجم المناسب بأفضل طريقة عن طريق الاستعانة بمساعدة أحد الممثلين الفنيين لإحدى شركات تأجير أو تصنيع الضاغط المحمول والذي يستطيع التوصية بضاغط محمول يفي بمتطلبات المشروع (فيما يتعلق على سبيل المثال بالمتطلبات الخاصة بكمية الغاز ومتطلبات تصريف الغاز وجدول المواعيد).

الرسم التوضيحي ٤: نظام تجميع صمام قفل خط أنابيب الغاز



المصدر/كتيب مهندسي الغاز

الدروس المستفادة

الخطوة ٤: قم بفحص مدى إتاحة وتكلفة شراء أو استئجار الضاغط المحمول. غالبًا ما تُواجه الشركات التي تفكر في استخدام الضاغط المحمول بسؤال يتعلق بما إذا كان عليها تأجير أو شراء الوحدة. يعد العدد المتاح للإيجار من الضواغط المحمولة محدودًا وعادة ما تفضل شركات الإيجار الإيجارات طويلة الأجل. إذا تم التخطيط لاستخدام الضواغط المحمولة لأنشطة الضخ الزائد على أساس مستمر، فقد تحتاج الشركات إلى التفكير في شراء ضاغط غاز محمول وحتى في هذا الوقت، تظل هناك اعتبارات هامة تتعلق بإتاحة الضواغط وتكلفتها الداخلية. يوضح الرسم التوضيحي (٥) المعدلات الكبرى للتكاليف للعديد من المخططات التشغيلية.

الرسم التوضيحي٥: معدل تكلفة شراء واستئجار الضاغط المحمول*.

١,٠٠٠ رطل لكل بوصة مربعة - تدفق مرتفع		٦٠٠ رطل لكل بوصة مربعة - تدفق متوسط		٣٠٠ رطل لكل بوص مربعة - تدفق منخفض	
الشراء	الإيجار	الشراء	الإيجار	الشراء	الإيجار
٣-٦ مليون دولار	٧٧٠٠٠ - ١٩٤٠٠٠ دولار في الشهر	١٦٠١٠ مليون دولار	٣١٠٠٠ دولار - ٤٦٠٠٠ دولار في الشهر	٥١٨١٣١ دولار - ٧٧٧١٩٧ دولار	١٥٠٠٠ دولار - ٢٣٠٠٠ دولار في الشهر

* بناء على الافتراضات القائلة بأن تكلفة الشراء لا تشتمل على تكلفة الشحن أو التركيب وأن تكلفة الاستئجار تعادل ٣% من تكلفة الشراء.

مؤشرات نيلسون (Nelson) للأسعار

من أجل تقدير التضخم في تكاليف تشغيل وصيانة المعدات، يتم استخدام مؤشرات نيلسون فارار للتكلفة ربع السنوية (المتاحة في العدد الأول الذي يتم إصداره بشكل ربع سنوي في *مجلة النفط والغاز*) وذلك من أجل تحديث التكاليف في الوثائق الخاصة بالدروس المستفادة.

يتم استخدام مؤشر عمليات التكرير من أجل مراجعة تكاليف التشغيل بينما يتم استخدام مؤشر الآلات: التكلفة المفصلة لتكرير النفط من أجل تحديث تكاليف المعدات.

من أجل استخدام تلك المؤشرات في المستقبل، ابحث ببساطة عن أحدث رقم لمؤشر نيلسون فارار ثم قم بقسمة هذا الرقم على رقم مؤشر نيلسون فارار في فبراير/شباط ٢٠٠٦ وفي النهاية، قم بضرب الناتج في التكاليف الملائمة المذكورة في الدروس المستفادة.

★ اعتبارات أخرى تتعلق بالشراء. إضافة إلى سعر الشراء، تشتمل النفقات المالية الأخرى الضرائب والتكاليف الإدارية وتكاليف التركيب وتكاليف الشحن. غالبًا ما تكون تكاليف التركيب مرتبطة بالموقع. أوضح أحد الباعة أن هذه التكاليف يمكن أن تقل لتصل إلى ٣٨٨٦ دولار أو تزيد لتصل إلى ١٩٤٣٠ دولار بالنسبة للضاغط الصغير (أقل من ١٠٠ قدرة حصانية) ويمكن أن تتراوح من ١٩٤٣٠ إلى ٧٧٧١٨ دولار للوحدة الكبرى (أكبر من ٢٠٠٠ قدرة حصانية). ترتبط تكاليف الشحن بالموقع أيضًا وتتراوح من ٧٩٠٠ إلى ١٣١٧٠ دولار بالنسبة للوحدات الصغيرة ومن ٢٦٣٠٠ إلى ٣٩٥٠٠ دولار للوحدات الأكبر حجمًا. يجب أن يتضمن سعر شراء الضاغط جميع هذه العوامل الخاصة بالتكلفة كما يجب اعتبار هذه العوامل عند حساب التكلفة السنوية للضاغط. أوضح الباعة أن عمر استخدام وحدات الضاغط يتراوح بين ١٥ إلى ٢٠ عامًا عند صيانتها بطريقة مناسبة.

★ اعتبارات أخرى تتعلق بالإيجار. هناك تكلفة مشابهة أيضًا للضواغط التي يتم استئجارها تتعلق بالتركيب والشحن. عادة ما يتم دفع الإيجار بشكل شهري. وقد أوضح أحد الباعة أن المصروفات الإيجارية الشهرية كانت تعادل ٣% تقريبًا من سعر الشراء. وقدم بائع آخر سعرًا إيجاريًا يعتمد على القدرة الحصانية للضاغط. وقد تراوحت هذه الأسعار الإيجارية بين ١٥ دولار للقدرة الحصانية في الشهر بالنسبة للضواغط الكبرى إلى ٢٠ دولار للقدرة الحصانية في الشهر بالنسبة للضواغط الصغيرة.

يحتاج زيادة مزايا هذا الاستثمار إلى الحد الأقصى إلى تنسيق أنشطة الصيانة المخططة من أجل تقليل تكاليف تجميع وتفكيك الضاغط. يكون مثل هذا التنسيق هامًا بشكل خاص بالنسبة للصيانة التي يتم إجراؤها على خطوط أصغر وأقل ضغطًا حيث أن الهوامش تتلاشى عند انخفاض حجم الغاز الذي يحتمل استرداده.

الدروس المستفادة

الخطوة ٥: قم بتقدير التكاليف التشغيلية المرتبطة باستخدام الضاغط المحمول.
تشتمل التكاليف التشغيلية على تكاليف الوقود/الطاقة، والصيانة وتكاليف العمالة. يعد الغاز الطبيعي هو الوقود الذي يتم استخدامه بشكل متكرر لتشغيل الضواغط. وقد أوضح الباعة أن استخدام الوقود قد تراوح من ٧٠٠٠ إلى ٨٤٠٠ وحدة حرارية بريطانية لكل قدرة حصانية فرملية في الساعة. هذا، وتتراوح تكاليف الصيانة من ٥ إلى ١٢ دولارًا لكل قدرة حصانية في الشهر بناءً على حجم الضاغط. ولكن في معظم الحالات، تكون تكاليف الصيانة مُضمنة في سعر الإيجار.

الخطوة ٦: قم بحساب حجم وقيمة الغاز الذي تتم استعادته عن طريق الضاغط المحمول. يرتبط الغاز المتاح للاستعادة باستخدام الضاغط المحمول بقدر الغاز المتبقي في الجزء الذي يتم إصلاحه من خط الأنابيب. وطالما أن الضاغط المتحاذي قد ساعد على تخفيض حجم الغاز، فإن الضاغط المحمول يعمل بالحجم الذي تم تخفيضه.

محتوى الميثان في الغاز الطبيعي

يحتوي الغاز الطبيعي عالي الجودة في خط الأنابيب الموجود في قطاع النقل على نسبة ٩٣% تقريبًا من غاز الميثان. يمكن تقريب التخفيضات في معدلات انبعاث غاز الميثان عن طريق مقارنة محتوى الميثان في أنابيب الغاز الطبيعي عالي الجودة بفوائض الغاز الطبيعي التي يتم حسابها في هذه الوثيقة.

يخضع الغاز الذي تتم استعادته لمعدل الضغط. ويكون حجم الغاز الذي تتم استعادته من خلال الضاغط المحمول مساويًا لحجم الغاز الحالي مطروحًا منه حجم الغاز ومقسومًا على معدل الضغط. يكون الحجم الكلي للغاز الذي يمكن استعادته باستخدام الضاغط المحمول هو مقدار الغاز بالألف قدم المكعب مضروبا في سعر الغاز بالدولار/ألف قدم مكعب. تتضح هذه الحسابات في الرسم التوضيحي (٦).

الرسم التوضيحي ٦: حساب فوائض الغاز الناتجة عن استخدام الضاغط المحمول

المعطيات:	
M Ni Rp Vi	= الغاز المتاح أساسًا للاستعادة (ألف قدم مكعب). = الغاز الذي تتم استعادته باستخدام الضاغط المتحاذي (ألف قدم مكعب). = معدل ضغط الضاغط المحمول = قيمة الغاز الذي يتم استعادته من الضاغط المتحاذي (دولار).
(١)	الحساب: Np = الغاز الذي يتم استعادته باستخدام الضاغط المحمول
Np	= (Ni/RP) - Ni
(٢)	الحساب: Vg = قيمة الغاز الذي يتم استعادته باستخدام الضاغط المحمول.
Vg	= Np × ٧ دولارات/ألف قدم مكعب

الخطوة ٧: قم بتقييم المزايا الاقتصادية لاستخدام الضاغط المحمول بالتعاقب مع الضاغط المتحاذي. يمكن تحديد صافي قيمة استعادة الغاز من الجزء الذي يتم إصلاحه من خط الأنابيب. عن طريق طرح التكلفة (أي تكاليف التشغيل أو تكاليف الإيجار أو التكاليف السنوية) من قيمة الغاز الذي يتم استعادته باستخدام الوحدة. يمكن أن يعمل المشغلون بشكل فعال على تقليل تكلفة استخدام الضاغط عن طريق التخطيط للعديد من المشروعات المتعاقبة وتنفيذها. تكون القيمة الإجمالية للغاز الذي يتم استعادته عن طريق استخدام الضاغط المتحاذي والضاغط المحمول هي إجمالي القيمتين. يتضمن إجمالي التقييم الاقتصادي طرح تكاليف هذا الإجراء يوضح الرسم التوضيحي ٧ هذا التقييم.

الرسم التوضيحي٧: حساب الفائدة الاقتصادية الإجمالية لاستخدام الضاغط المحمول بالتعاقب مع الضاغط المتحاذي	
المعطيات:	
Vi = قيمة الغاز الذي تمت استعادته باستخدام الضاغط المتحاذي Vg = قيمة الغاز الذي تمت استعادته باستخدام الضاغط المحمول. Vcf = تكلفة الوقود، انظر الخطوة (٥) Vcl = تكلفة العمالة Vcm = تكلفة الصيانة، انظر الخطوة (٥) Vci = التكلفة الرأسمالية للتركيب، انظر الخطوة (٤) Vcs = التكلفة الرأسمالية للشحن، انظر الخطوة (٤) Vcp = تكلفة شراء الضاغط، انظر الخطوة (٤) Vct = تكلفة الضرائب والإدارة، انظر الخطوة (٤) CR = عامل استرداد رأس المال (حيث (CR = [I (1+I)n] / [(1+I)n-1]) I = سعر الفائدة N = عدد السنوات في فترة العقد ١٠الإيجار) أو عمر الاستخدام (الشراء).	
(١) الحساب: Vcr = تكلفة الاستثمار الرأسمالي التي يتم استردادها على مدار فترة عقد الضاغط	
Vcr = CR (vct + vcp + vcs + vci)	
(٢) الحساب: Vc = إجمالي التكاليف المرتبطة بالضاغط المحمول	
Vc = Vcr + vcm + vcl + vcf	
(٣) الحساب: VP = صافي قيمة الغاز المحمول الذي تمت استعادته	
VP = صافي قيمة الغاز المحمول الذي تمت استعادته. VP = صافي قيمة الغاز المحمول الذي تمت استعادته- التكلفة التشغيلية (دولار VP = vg - vc	
(٤) الحساب: Vt = إجمالي قيمة الغاز الذي تمت استعادته	
Vt = إجمالي قيمة الغاز الذي تمت استعادته من الضواغط المتحاذية والمحمولة. Vt = إجمالي قيمة الغاز الذي تمت استعادته من الضواغط المتحاذية+ صافي قيمة الغاز الذي تمت استعادته من الضواغط المحمولة Vt = vi +vp	

سيناريو نموذجي لاستعادة الغاز

سيناريو نموذجي باستخدام الضاغط المحمول

يحتاج خط أنابيب إحدى الشركات الذي يصل قطره الخارجي إلى ٣٠ بوصة (قطر داخلي ٢٨,٥ بوصة) ويعمل على ٦٠٠ رطل لكل بوصة مربعة إلى التصريف قبل إجراء الصيانة على امتدادات ١٠ أميال مختلفة. يكون معدل ضغط الضواغط الترددية المتحاذية ٢ إلى ١ ويمكن استخدامها بأمان لسحب الضغط من خط الأنابيب. هناك ضاغط محمول ذا معدل ضغط فعال من (٨ إلى ١)يعمل على ١٠٠٠ قدرة حصانية متاح بتكلفة ٣١٠٠٠ دولار في الشهر (بما في ذلك تكاليف الصيانة) ويمكن تجميعه لأحد أنظمة صمام القفل. يمكن أن يعمل الضاغط المحمول على إزالة ما يقرب من ٤١٦ ألف قدم مكعب في الساعة ويستهلك ٧٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية لكل قدرة حصانية في الساعة. يمكن أن يقوم طاقم العاملين بالصيانة بتركيب تشغيل الضاغط دون تكلفة إضافية على الشركة. يعد إجمالي تكاليف الشحن لنقل الضاغط المحمول من الشركة المؤجرة إلى المستخدم ١٩٠٠٠ دولار. وسوف يتم إجراء التصريف والصيانة بمعدل ٤ مرات في الشهر. سوف يتم استئجار الضاغط المحمول لمدة ١٢ شهرًا.

من أجل تحديد المزايا ذات الصلة باستخدام الضاغط المحمول مع الضاغط المتحاذي، قام أحد المشغلين باستخدام الخطوات التالية لحساب صافي قيمة الغاز القابل للاستعادة. في بادئ الأمر، قام المشغل بحساب إجمالي قيمة الغاز المتاح لاستعادته.

الرسم التوضيحي ٨: الحجم الإجمالي للغاز المتاح للاستعادة
إجمالي الغاز المتاح للاستعادة لكل ١٠ امتداد ميلي: = ١٠ ميل × ٥٢٨٠ قدم لكل ميل × (P)(٢٣٧٥ قدم)^{٢} ÷ ٤) × ((٦٠٠ رطل لكل بوصة مربعة + ١٤,٦٥) ÷ ١٤,٦٥ رطل لكل بوصة مربعة) × ألف قدم مكعب لكل ١٠٠٠ قدم مكعب = ٩٨١٤ ألف قدم مكعب

ثم قام المشغل بحساب حجم وقيمة الغاز القابل للاستعادة باستخدام الضاغط المتحاذي.

الرسم التوضيحي ٩: صافي الفوائض ذات الصلة باستخدام الضاغط المتحاذي
كمية الغاز القابل للاستعادة في كل إجراء باستخدام الضاغط المتحاذي
= ٩٨١٤ ألف قدم مكعب - (٩٨١٤ ألف قدم مكعب ÷ ٢,٠ معدل الضغط في الضاغط المتحاذي). = ٤٩٠٧ ألف قدم مكعب تمت استعادته لكل إجراء باستخدام ضغط الضاغط المتحاذي.
قيمة الغاز الذي تتم استعادته في كل إجراء باستخدام الضاغط المتحاذي.
= ٤٩٠٧ ألف قدم مكعب × ٧ دولارات لكل ألف قدم مكعب = ٣٤٣٤٩ دولار لكل إجراء.
القيمة السنوية للغاز الذي يتم استرداده بافتراض ٤ إجراءات في الشهر
= ٣٤٣٤٩ دولار × ٤ لكل شهر × ١٢ = ١٦٤٨٧٥٢ دولار

ثم قام المشغل بحساب حجم الغاز القابل للاستعادة باستخدام الضاغط المحمول وقيمته الإجمالية.

الرسم التوضيحي ١٠: الفوائض الكلية ذات الصلة باستخدام الضاغط المحمول
الغاز المتاح لكي تتم استعادته باستخدام الضاغط المحمول
= إجمالي الغاز المتاح - الغاز الذي تتم استعادته باستخدام الضاغط المتحاذي = ٩٨١٤ ألف قدم مكعب - ٤٩٠٧ ألف قدم مكعب. = ٤٩٠٧ ألف قدم مكعب من الغاز القابل للاستعادة باستخدام الضاغط المحمول
القيمة الإجمالية للغاز القابل للاستعادة لكل ضخ زائد باستخدام الضاغط المحمول:
= الغاز القابل للاستعادة باستخدام الضاغط المحمول× قيمة الغاز. ={٤٩٠٧ ألف قدم مكعب - (٤٩٠٧ ألف قدم مكعب ÷ ٨ معدل ضغط محمول)} × ٧ دولارات لكل ألف قدم مكعب. = ٣٠٠٥٦ دولار
القيمة الإجمالية للغاز القابل للاستعادة خلال فترة ١٢ شهرًا بافتراض معدل ضخ زائد أربع مرات شهريا:
= ٣٠٠٥٦ دولار × ٤ × ١٢ = ١٤٤٢٦٨٨ دولار

أراد المشغل أيضًا إجراء حسابات تكاليف الوقود والصيانة ذات الصلة بالضاغط المحمول.

الرسم التوضيحي ١١: التكاليف المرتبطة بالضاغط المحمول
من أجل حساب تكاليف الوقود، أراد المشغل أولاً تحديد عدد الساعات التي قد يتم تشغيل الضاغط خلالها وبناء على تلك الساعات يتم حساب كمية الوقود المستخدمة لكل امتداد ١٠ أميال:
الساعات التي سوف يعمل خلالها الضاغط المحمول لإزالة حجم الغاز: = الغاز القابل للاستعادة باستخدام الضاغط المحمول ÷ معدل الضاغط. = (٤٩٠٧ ألف قدم مكعب - (٤٩٠٧ ألف قدم مكعب ÷ ٨ معدل ضغط)) ÷ ٤١٦ ألف قدم مكعب في الساعة. = ١٠ ساعات
الوقود المستخدم، بافتراض كون الغاز الطبيعي به محتوى حراري ١٠٢٠ وحدة حرارية بريطانية/قدم مكعب قياسي: = ٧٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية/قدرة حصانية/ساعة × ١٠٠٠ قدرة حصانية × ١٠ ساعات ÷ ١٠٢٠ وحدة حرارية بريطانية/قدم مكعب قياسي ÷ ١٠٠٠ قدم مكعب قياسي/ألف قدم مكعب. = ٦٩ ألف قدم مكعب قياسي لكل امتداد ١٠ ميل.
تكاليف الوقود بافتراض امتدادات ١٠ ميل في الشهر: = ٧ دولارات لكل ألف قدم مكعب × ٦٩ ألف قدم مكعب × ٤ = ١٩٣٢ دولار في الشهر.
تكاليف الإيجار والصيانة = ٣١٠٠٠ دولار في الشهر
تكلفة الشحن = ١٩٠٠٠ دولار
إجمالي تكلفة استخدام الضاغط المحمول خلال فترة ١٢ شهر: = تكاليف الوقود + تكاليف الإيجار والصيانة + تكاليف الشحن. = ١٢× (١٩٣٢ دولار+٣١٠٠٠ دولار) + ١٩٠٠٠ دولار = ٤١٤١٨٤ دولار

يسفر خصم تكاليف الضاغط المحمول من عوائد الفوائض عن صافي الفوائض ذات الصلة باستخدام الضاغط المحمول.

الرسم التوضيحي١٢: صافي الفوائض ذات الصلة باستخدام الضاغط المحمول
إجمالي القيمة الصافية للغاز الذي تتم استعادته خلال فترة إيجار ١٢ شهرًا باستخدام الضاغط المحمول = ١٤٤٢٦٨٨ دولار - ٤١٤١٨٤ دولار = ١٠٢٨٥٠٤ دولار

تسفر إضافة صافي الفوائض من العوائد المتحاذية والمحمولة عن صافي الفوائض الإجمالية لهذا السيناريو.

الرسم التوضيحي ١٣: صافي قيمة الفوائض من سيناريو استعادة الغاز الكامل
صافي قيمة الغاز الذي تمت استعادته من السيناريو الكامل (الضاغط المتحاذي + المحمول) = ١٦٤٨٧٥٢ دولار + ١٠٢٨٥٠٤ دولار = ٢٦٧٧٢٥٦ دولار.

الدروس المستفادة

دراسة حالة: تجربة أحد الشركاء

حققت إحدى شركات الغاز الجنوبية فوائض تصل إلى ٣٢٥٥٠ ألف قدم مكعب عام ١٩٩٨ باستخدام ضواغط الضخ الزائد لتفريغ خطوط الأنابيب. وقد استخدمت الشركة الضواغط في مكان واحد في العام على مدار ثلاث سنوات بتكلفة إجمالية بلغت ٦٨١٠٠ دولار حسب تقديرات تكاليف عام ٢٠٠٦. وقد قدرت الشركة الفوائض بنحو ٢٢٨٠٠٠ دولار في المنتج الذي تمت استعادته، باستخدام سعر الغاز البالغ ٧ دولارات لكل ألف قدم مكعب كقيمة للغاز الذي لم يعد يتسرب. وبطرح تكاليف الضخ الزائد من قيمة الغاز الذي تم ادخاره، حققت الشركة فوائض صافية بنحو ١٥٩٩٠٠ دولار. وفي هذه الحالة، كانت فترة العائد المتوقعة للضاغط المحمول ٤ أشهر تقريبا.

الدروس المستفادة

يسمح استخدام تقنيات الضخ الزائد لإزالة الضغط من خط الأنابيب خلال أنشطة الصيانة المخططة للشركات باستعادة ٥٠% إلى ٩٠% من الغاز الطبيعي الذي يتسرب. يقدم الشركاء الدروس التالية المستفادة من استخدام الضواغط المتحاذية والمحمولة لاستعادة محتويات خط الأنابيب:

- ★ قم دائمًا بإجراء الضخ الزائد لخط الأنابيب باستخدام الضاغط المتحاذي كجزء من برنامج الصيانة المخطط. وحتى في حالة عدم استخدام الضواغط المحمولة، يمكن أن تؤدي الضواغط المتحاذية إلى تقليل معدلات انبعاث التسرب.
- ★ قم بدمج إجراءات الضخ الزائد باستخدام الضاغط المتحاذي مع إجراءات الطوارئ. ورغم صعوبة إجراء الضخ الزائد لخط الأنابيب أثناء فترات الطوارئ (مثل إصلاح خطوط الأنابيب التي تقوم بالتسريب) عن إجرائه أثناء الصيانة المخططة، تظل إجراءات الضخ الزائد أثناء فترة الطوارئ قادرة على أن تسفر عن فوائض كبرى في الغاز والتكاليف.
- ★ يستطيع الشركاء زيادة فوائض الغاز والتكاليف إلى الحد الأقصى عن طريق استخدام الضواغط المحمولة بشكل مكثف وإجراء الإصلاحات أو التحديثات على الأجزاء المتعددة من خط الأنابيب التي يتم وقفها عن الخدمة بالتتابع، قم بفحص إتاحة الضاغط المحمول وأحجامه عند التخطيط للعمليات. يمكن أن تكون إتاحة الضواغط المحمولة، محدودة في المناطق المنعزلة.
- ★ قم بتجميع واحد على الأقل من صمامات النقل للخط الرئيسي وذلك من أجل تهيئة الضواغط المحمولة.
- ★ إذا كان ذلك ممكنًا، قم بحساب المزايا الاقتصادية لاستعادة الغاز الطبيعي قبل إجراء أنشطة الصيانة المخططة. يضمن ذلك فعالية تكلفة الأنشطة.
- ★ اذكر التخفيضات في معدلات انبعاث الغاز من خلال هذه الطريقة في التقرير السنوي لبرنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي.

المراجع

جمعية الغاز الأمريكية. كتيب مهندسي الغاز، ١٩٦٥.

الاتصال الشخصي: ضواغط الغاز الهوائية.

شركة كرين، تدفق السوائل. البحث الفني رقم ٤١٠، ١٩٩٤.

الاتصال الشخصي: دانيال، جون، جيه دابليو التشغيلي.

الاتصال الشخصي: جمعية ضاغط الغاز الميداني.

الاتصال الشخصي: جاتينج بول إم برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي.

الاتصال الشخصي: هيندرسون، كارولين. برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي.

الاتصال الشخصي: إيفي، بوبي، الضغط العام المدمج.

الاتصال الشخصي: ضواغط نوكس الغربية للغاز.

جمعية موردي معالجات الغاز الطبيعي. كتاب البيانات الهندسية ١٩٦٦.

بيري، روبرت إتش، كتيب المهندسين الكيميائيين، الطبعة الخامسة، شركة ماتجرو هيل بوك ١٩٧٣.

جمعية مهندسو البترول. كتيب هندسة البترول ١٩٨٧.

الاتصال الشخصي: تينجلي، كيفن، برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي.

الدروس المستفادة

1EPA
United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA xxx
xxx 2006

1EPA
الولايات المتحدة
وكالة الحماية البيئية
الهواء والإشعاع (٦٢٠٢ جيه)
١٢٠٠ طريق بنسلفانيا، إن دبليو
واشنطون، دي سي ٢٠٤٦٠

EPA xxx
٢٠٠٦ xxx