الباب السادس

قياس تدفق الغازات والسوائل

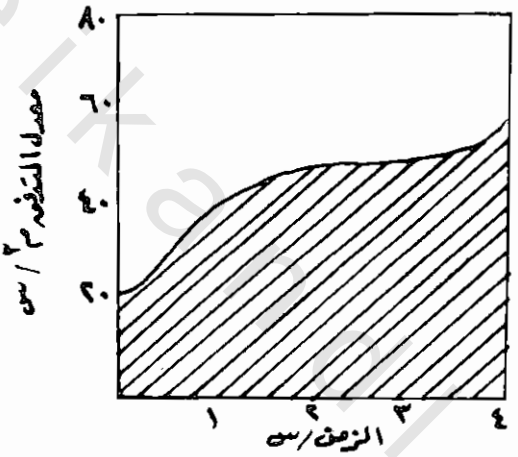
تمثل قياسات تدفق الغازات والسوائل نسبة مئوية كبيرة من القياسات التى تجرى فى الصناعات الكيمائية ، بل ربما أمكننا أن نقول إنها أكثر أنواع القياسات أهمية فى مجال الصناعات الكيميائية ، فلولا قياسات التدفق لكان خلط المواد بالنسبة المحددة لها وضبط الجوده والإنتاج المستمر . . . إلخ من الأمور المستحيلة تقريباً .

وتوجد طرق كثيرة دقيقة يمكن الاعتماد عليها فى قياس التدفق ، ومنها ما يناسب السوائل فقط ومنها أيضاً ما يناسب الأبخرة والغازات ، وبعض الطرق تناسب السوائل والغازات والأبخرة . والسوائل التى يتم قياس تدفقها قد تكون رائقة أو معتمة ، نظيفة أو قذرة ، رطبة أو جافة ، مؤكسدة أو غير مؤكسدة . والتدفق قد يكون مضطرباً به دوامات أو هادئاً ينساب فى طبقات ، والمائع تتفاوت لزوجته وضغطه ودرجة حرارته . وثمة متغير آخر هو معدل التدفق الذى قد يتراوح بين بضع قطرات فى الدقيقة الواحدة إلى آلاف اللترات فى الدقيقة .

وقد أدى هذا التنوع الكبير فى خواص الموائع وتدفقها ومعدلاتها إلى استنباط طرق وأجهزة قياس كثيرة كل منها تناسب حالة أو حالات بعينها ، ويمكن تقسيم أجهزة القياس إلى قسمين رئيسيين هما :

– عدادات الحجم أو الكتلة وهى العدادات التى تعطى الكمية الكلية التى تتدفق فى زمن معين ويمكن الحصول على متوسط معدل التدفق بقسمة قيمة الكمية الناتجة على الزمن الذى تدفقت فيه .

– عدادات معدل التدفق وهى تعطى معدل التدفق الفعلى ويمكن الحصول على الكمية الكلية المتدفقة بتجميع أو تكامل الكميات المتدفقة فى فترات زمنية صغيرة . ويمكن الحصول على الكمية الكلية للتدفق عن طريق المنحنى الناتج من رسم قيم معدلات التدفق مع الزمن ونحسب المساحة الواقعة تحت المنحنى الناتج كما فى الشكل رقم (٦٢) .



الشكل رقم (٦٢)

٦/١ عدادات الحجم والكتلة :

كما يتضح من تسمية هذه العدادات فإنها تشمل نوعين من العدادات أحدهما للكتلة والثانى للحجم ويتم الحصول على الكتلة فى النوع الأول بالوزن وفى النوع الثانى تعطى العدادات حجم المائع المتدفق ، وتصنف طبقاً للمائع إلى عدادات حجوم السوائل مثل

الحزان البسيط أو عدادات الإزاحة ، وعدادات حجوم الغازات مثل عداد الغاز ذى المنفاخ والعداد ذى الدفاعة الدوارة

٦ / ١ / ١ عداد الكتلة :

يتم تشغيل هذه العدادات بواسطة وزن السائل ، ويوجد نوع من هذه العدادات يكون فيه الوعاء معداً بحيث إنه إذا بلغ السائل الذى يحتويه ارتفاعاً محدداً من قبل فإنه (أى الوعاء) ينقلب ويفرغ ما به . وأيضاً فإن هذا الإناء ينقلب عندما يصل مركز الثقل ارتفاعاً معيناً محدداً سلفاً فإن معايرته تعتمد على كثافة المائع المقيس وبالتالى فإنها تتأثر بتغير درجة الحرارة لأنها تؤثر على كثافة كل من الوعاء والسائل . غير أن هذا التاثير يكون صغيراً بصفة عامة ، ويسجل عدد مرات انقلاب الوعاء بعداد ويكون ذلك مقياساً للوزن الكلى الذى يدفق .

ويوجد نوع آخر من العدادات يتم فيه تعليق الوعاء فى عاتق ميزان ذى ثقل موازنة .

٦ / ١ / ٢ عدادات حجوم السوائل :

٦ / ١ / ٢ / ١ العداد ذو الخزان :

يتكون العداد فى أبسط صورة من خزان واحد يملأ ثم يفرغ تبادلياً ويسمح للخزان بالامتلاء حتى يصل السائل إلى قمة سيفون حيث يتدفق . ويسجل عدد مرات التفريغ بواسطة آلية مشغلة بعوامة .

وعندما يستخدم خزانان يملأ أحدهما حتى إذا وصل مستوى السائل فيه إلى قيمة محدده سلفاً فإن الآلية المشغلة بواسطة عوامة تقوم بمنع التدفق إلى هذا الخزان وتوجهها إلى الخزان الثانى ، وفى نفس الوقت يفتح صمام فى أسفل الخزان الأول فيسمح للسائل بالتدفق إلى خارجه . . وهكذا يمتلئ أحد الخزانين بينما يفرغ الآخر وتسجل آلية تعمل بعوامة عدد مرات الملء ويكون ذلك مقياساً للتدفق .

٦ / ١ / ٢ / ٢ عدادات الإزاحة الموجبة :

تستخدم عدادات الإزاحة كثيراً فى التطبيقات التى لها دقة عالية وتكرارية جيدة ، ولا تعتمد دقتها على أية نبضات تحدث فى تدفقه ، كما أنه يوفر إمكانية القياس بدقة للسوائل العالية اللزوجة وبدرجة أفضل مما تتيحه عدادات التدفق الأخرى ، لذلك فإن هذه العدادات تستخدم كثيراً كأساس لحساب قيم كميات البترول أو الماء . كما تستخدم فى العمليات الصناعية التى تشمل إدخال كميات معينة بعدها يقطع التدفق تلقائياً .

ومبدأ القياس فى عداد الإزاحة هو أن السائل عند تدفقه عبر العداد فإنه يحرك عنصر القياس الذى يغلق حجرة القياس ويقسمها إلى مجموعة من حجيرات القياس التى تحوى كل منها حجماً محدداً ، وبتحرك عنصر القياس فإن حجيرات القياس تمتلئ ثم تفرغ الواحدة تلو الأخرى ، ومع كل دورة كاملة لعنصر القياس يسمح لقدر معين من السائل بالمرور من مدخل العداد إلى مخرجه . ويتكون مانع التسرب بين عنصر القياس وحجرة القياس من غشاء من السائل المقيس ذاته . ويوجد بالعداد مؤشر يتحرك على قرص مدرج أو وسيلة بيان أخرى تبين عدد دورات عنصر القياس ، ويستمد المؤشر الطاقة اللازمة له من حركة عنصر القياس عن طريق مجموعة مسننات (تروس) منضبطة . ويتم ضبط نسبة تعشيق المسننات أثناء المعايرة بحيث يصير الفرق بين الكمية الحقيقية وتلك المبينة بواسطة العداد أقل ما يمكن على كامل السعة المقسة للعداد . وينتج الفرق بين الكمية الحقيقية والمبينة عن التسرب خلال الخلوص الميكانيكى للأجزاء المتحركة ويعتمد هذا التسرب على عوامل كثيرة منها حجم الخلوص بين عنصر القياس وحجرة القياس ، ويمكن تقليل التسرب الناتج عن هذا الخلوص بتضييق تفاوتات التصنيع ، وأيضاً فإن التغييرات فى درجة الحرارة تزيد حجم الخلوص بين عنصر القياس وحجرة القياس بالإضافة إلى تغيير مقاس حجيرات القياس . ويمكن تقليل تأثير تغييرات درجة الحرارة بحيث يمكن إهمالها بالتصميم الجيد للعداد . وبالإضافة إلى ما سبق من عوامل مسئولة عن التسرب فإن زيادة لزوجة السائل المقيس تؤدى إلى زيادة الفقد فى الضغط

عبر عنصر القياس . غير أن هذا يعوض وزيادة بواسطة الحفض فى التدفق من الخلوص عند انخفاض معين للضغط .

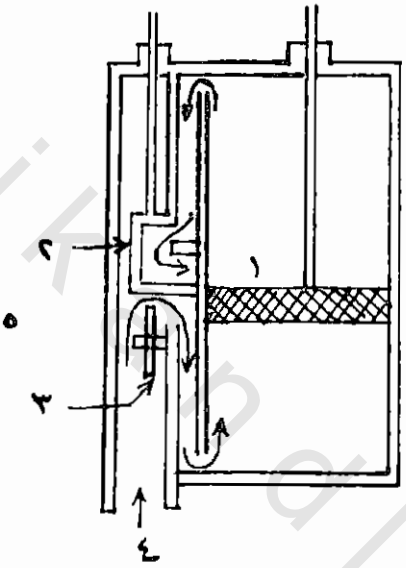
ويجدر بنا أن نلاحظ أن الأخطاء الرئيسية فى عدادات الإزاحة الموجبة تنتج عن فروق فى درجة الحرارة والكثافة واللزوجة للسائل فى ظرف التشغيل عن القيم المناظرة لها عند المعايرة . لذلك فإنه من الممارسات العملية أن يتم معايرة العدادات فى مواقع استخدامها بواسطة معاير العدادات . وقد يكون المعاير عبارة عن خزان بسيط سبق معايرته بالمقارنة مع مقياس أمامى دقته حوالى + ٠,٠٤ ٪ ، وحجم هذا الخزان يمكن تحديده بدقة + ٠,١ ٪ . ويوجد نوع آخر من معايرات العدادات عبارة عن أنبوبة معايرة ذات طول محدد ومقطع منتظم متجانس مركب عليها كشافان بينهما مسافة معينة . ويوجد مكبس على شكل كرة متوافقة بإحكام مع الأنبوبة يتم دفعها بالسائل المتدفق من الكشاف إلى الآخر وهى فى أثناء ذلك تزيح حجماً معيناً ومعلوماً من السائل ، وقد وضع المكشافان بحيث تكون المسافة بينهما كافية لتعطى الدقة المطلوبة وبعض صانعى هذه المعايرات يدعى لها دقة + ٠,٠٢ ٪ .

وبطبيعة الحال فإن دقة العداد لا يمكن أن تكون أفضل من دقة المعايرة ، غير أنه عندما تستخدم معدات معايرات دقيقة فإنه يمكن معايرة العداد بالسائل الحقيقى وبنفس معدل التدفق الذى ستجرى به القياسات بعد ذلك ويجرى الضبط اللازم للمحافظة على دقة القياس .

وقد أثبتت الخبرة المكتسبة فى مجال صناعة البترول أن القياس بواسطة عداد من تصميم جيد وتم معايرته وصيانته من آن لآخر يكون أدق بكثير من قياس الكمية بواسطة طريقة قياس المستوى فى خزانات معايرة .

وتتفاوت دقة القياس بعداد الإزاحة من تصميم إلى آخر وتبعاً لظروف وطبيعة السائل المقيس ومعدل تدفقه . ويجب بذل مزيد من العناية فى اختيار العداد المناسب لنوع القياس المطلوب . وتشمل عدادات الإزاحة أنواعاً كثيرة ، وفيما يلى أكثرها شيوعاً :

المكبس الترددى – المكبس المتذبذب (المكبس الدوار) القرص المترنح الدوار الحلزونى المحدد – الريشة المنزلقة – الريشة المترددة – المسننات البيضاوية . ويبين الشكل رقم (٦٣) العداد ذا المكبس الترددى .



الشكل رقم (٦٣)

عداد التدفق دو المكبس التروددى

(١) مكبس

(٢) صمام ترلق .

(٣) دليل .

(٤) تدخل المائع .

(٥) مخرج المائع .

obeikandl.com

وهذا العداد يشبه كثيراً ، من حيث التركيب ، المكبس والإسطوانة فى ماكينة البخار ، فيدخل المائع المطلوب قياس ضغطه الجانب السفلى مثلاً لجسم العداد فيحرك المكبس إلى أعلى ، وينصرف الماء الموجود أعلاه من خلال ماسورة المخرج . وعندما يصل المكبس إلى أقصى وضع فى مشواره تفصل قمة الأسطوانة عن جانب المخرج وتفتح لدخول الماء . وفى نفس الوقت يفتح قاع الأسطوانة إلى جانب المخرج ولكنه يكون مقطوعاً عن ماء المدخل . ويؤدى ضغط الماء الداخل إلى تحريك المكبس إلى أسفل حيث ينصرف الماء من أسفله إلى أنبوبة التصريف . وعندما يصل المكبس إلى أدنى وضع فى مشواره فإن الصمام يعمل مرة ثانية وتتكرر الدورة . وتقوم الذراع الخارجية التى تسبب حركة الصمام المنزلق فى الوقت ذاته بإدارة عداد يعطى مجموع كمية المائع التى مرت من خلال العداد .

توجد عدادات تشتمل على أكثر من أسطوانة واحدة ومنها نوع يشتمل على أربع أسطوانات مرتبة تعامدياً بحيث يكون محور أى منها عمودياً على محور المجاورة لها . وتوصل هذه الأسطوانات بالتبادل بواسطة صمام دوار على فتحتى المدخل والمخرج وتستخدم الحركة الترددية للمكابس فى تشغيل عداد يعطى إجمالى كمية المائع التى تدفقت عبر العداد .

٦ / ٢ عدادات معدل التدفق :

إذا كان مقطع ماسورة هو ١ متراً مربعاً وسرعة السائل بها منتظمة على مقطعها وقيمتها ع م / ث فإن ا ع متراً مكعباً هو حجم السائل الذى يتدفق فيها فى الثانية الواحدة . وفى الحقيقة فإن السرعة لا تكون منتظمة على مقطع الأنبوبة وإنما تكون أكبر عند مركز هذا المقطع وأقل عند نقاط تلامس السائل بالماسورة . وإذا أمكننا قياس سرعة ترتبط بعلاقة ثابتة مع السرعة المتوسطة على المقطع فإن الحجم المتدفق يكون مساوياً لناتج ث × أ × ع م ٣ / ث حيث ث ثابت الماسورة ويمثل العلاقة بين المتوسط

الحقيقى للسرعة والسرعة المقيسة . ويلاحظ أن هذا الثابت يعتمد على شكل المقطع . ويمكن تعيينه بالتجربة لأى مقطع معين . وتعمل عدادات معدل التدفق على هذا المبدأ لقياس سرعة السائل عبر العداد . وتنقسم عدادات معدل التعدل ، حسب نوع المائع المقيس ، إلى عدادات معدل التدفق للسوائل وتشمل عدادات الريشة المنحرفة وعدادات الريشة الدوارة وعدادات الريشة الحلزونة والعدادات التوربينية والعدادات التوافقية والعدادات المغناطيسية وعدادات التدفق فوق السمعى . والقسم الثانى عد دات معدل التدفق للغازات فتشمل عدادات الريشة الحارفة وعدادات اريشة الدوارة والعدادات الحرارية .

٦ / ٢ / ١ عدادات معدل التدفق للسوائل :

٦ / ٢ / ١ / ١ عداد الريشة الدوارة :

يتكون هذا العداد من عدد من الأجنحة مرتبة حول محيط قرص أو مجرد موصلة قطرياً على مسافات حول محور دوران بحيث يكون جنح واحد على الأقل فى تيار السائل وسوف تؤدى القوى الناتجة على هذه الأجنحة إلى دورانه باستمرار ويكون معدل الدوران مقياساً لسرعة السائل فى العداد . وهذه السرعة هى الأخرى مقياس لكمية السائل الكلية التى تدفقت عبر العداد . ويتم تنظيم العداد بتحريك عارضة منضبطة تؤثر على السحب الواقع على الريشة الدوارة . ويقاس كل من التدفق الأمامى والخلفى وتسجل محصلة التدفق على قرص مدرج . ويمكن أن يكون العنصر الثانوى أو المؤشر فى العداد إما عداد دورات بسيط يعطى قراءة مباشرة أو قد يشتمل على عدد من الأقراص المدرجة .

ويصنع العداد من مادة مقاومة للصدأ ، وعندما يستخدم لقياس الماء تكون جميع أجزائه العاملة من النيكل وتصنع الريش الدوارة من بلاستيك خاص . ويوجد فى الأسواق تصميمان لهذا العداد ، أحدهما للاستخدام فى المواسير الأفقية والآخر للمواسير

الرأسية ويصلح التصميم الأخير للتدفق الصاعد أو الهابط . ولقياس معدلات تدفق كبيرة فى المجارى المغلقة فإنه يتم استبدال المروحة ذات الريش الدوارة بمروحة حلزونية مركبة مركزياً فى جسم العداد ويكون محورها فى اتجاه التدفق . وتتكون المروحة من أسطوانة جوفاء عليها أجنحة مشكلة بدقة .

٦ / ٣ قياس التدفق بواسطة قياس الضغط الفرق :

تعتبر طرق قياس معدلات التدفق بواسطة قياس الضغط الفرق من أقدم الطرق التى لا تزال مستخدمة بالصناعة حتى الآن . وهى تمتاز على جميع الطرق الأخرى بالبساطة والدقة وقلة التكاليف . وقد يمكن القول إن عدادات التدفق التى تعتمد فى قياسها على قياس الضغط الفرق هى أكثر أنواع العدادات انتشاراً واستخداماً . وتعتمد هذه العدادات فى قياسها على أساس أنه عندما يدخل اختناق فى مجرى التيار فإن سرعة السائل أو الغاز المتدفق ، وبالتالى طاقته الحركية ، تزداد وحيث إن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى ، فإن الزيادة فى الطاقة الحركية تكون على حساب طاقة الضغط ، أى أن الضغط يقل عبر الاختناق ، ويكون هناك ما يسمى بالضغط الفرق الذى يمكن قياسه ، ومنه يتم حساب سرعة تيار المائع .

وإذا كانت ت ح تمثل معدل التدفق الحجمى للمائع ، ث كثافته ، م مساحة مقطع الماسورة أو الأنبوبة التى يتدفق بها المائع ، ض الضغط الفرق عبر الاختناق الموضوع فى مجرى هذا التيار ، فإنه يمكن إثبات العلاقة التالية باستخدام نظرية « برنولى » :

$$ت = ك\ م \sqrt{\frac{ض}{ث}}$$ حيث ك ثابت .

وهذه العلاقة تستخدم فى حساب ت ح .

ويمكن إذا تم تثبيت مساحة مجرى التدفق قياس التدفق بواسطة قياس علو الضغط ، ويمكن أيضاً المحافظة على معدل تدفق ثابت بتثبيت قيمتى المساحة وعلو الضغط .

ويمكن أيضاً تثبيت علو الضغط وقياس المساحة اللازمة للمحافظة على التدفق

ثابتاً ، وأخيراً يمكن السماح بتغيير كل من علو الضغط والمساحة كما فى حالة المجرى المفتوح وبقياس الاثنين يمكن الحصول على التدفق . لذلك يمكن توصيف طرق الضغط الفرق لقياس التدفق تحت العناوين التالية :

أولاً : طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط المتغير :

ويتم تثبيت المساحة بإدخال أحد العناصر التالية والتى تشمل العناصر الرئيسية فى خطوط أو أنابيب التدفق :

(ا) أنبوبة « بيتوت » الساكنة .

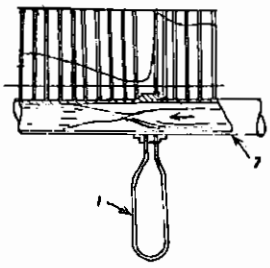
(ب) أنبوبة « فنتورى » ، وفوهة التدفق .

(حـ) أنبوبة « بيتوت -- فنتورى » .

(د) أنبوبة « دول » .

(هـ) اللوح ذو الفتحة .

وينشأ نتيجة لإدخال أحد العناصر الرئيسية ضغط فرق بالشكل رقم (٦٤) يتم قياسه بواسطة إحدى الوسائل الثانوية لقياس الضغط مثل المانومترات أو المنافيخ . . إلخ التى سبق ذكرها فى الباب الخامس .



الشكل رقم (٦٤)

التدفق عند اختناق يؤدى إلى نشوء فرق ضغط يتناسب مع حول التدفق .

(١) مانومتر زئبق .

(٢) أنبوبة يتدفق بها السائل .

(٣) ١٧ أنابيب زجاجية من الصعط الإستاتيكى ويلاحظ أن أدنى قيمته السابقة للاختناق .

وتتشابه جميع العناصر الرئيسية السابقة فيما يلى :

١ – إن كلا منها يحتاج إلى جهاز لقياس الضغط الفرق .

٢ – إن كلا منها يحتاج إلى ذات التجهيزات من الأنابيب وأيضاً نفس الاحتياطات .

٣ – ينتج عن كل منها انخفاض فى الضغط فى الخط أو الأنبوبة .

وفى الوقت ذاته توجد بينها فروق كالتالى :

١ – الانخفاض فى الضغط فى حالة اللوح ذو الفتحة أشد عنه فى حالتى الفوهة أو أنبوبة « فنتورى » .

٢ – تكون استعادة الضغط أقل ما يمكن بالنسبة للوح ذى الفتحة .

٣ – أنبوبة « فنتورى » أكثرها تكلفة بينما اللوح ذو الفتحة أقلها تكلفة .

٤ – اللوح ذو الفتحة أسهل فى التصنيع عن الوسائل الأخرى .

٥ – يملأ تيار التدفق فتحات الفنتورى والفوهة ، ولكنه يتقلص عند مروره بفتحة اللوح حيث تصل نسبة الخفض فيه إلى حوالى ٤٠ ٪ .

٦ – معامل التدفق للفنتورى والفوهة يظل ثابتاً تقريباً فى مدى تشغيلها ولكن معامل التدفق لفتحة اللوح يتغير قليلاً .

٧ – تتأثر « الفنتورى » قليلاً بوجود مواد صلبة فى المائع المتدفق ، ويمكن للفوهة تحمل تركيزات ضئيلة من المواد الغريبة ولكن الفتحة تتأثر خصائصها بشدة بتجمع المواد الصلبة أمامها .

ثانياً : طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط الثابت :

ثالثاً : طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط الثابت ويندرج تحتها العدادات التالية :

العداد ذو البوابة ، العداد ذو الفتحة ، العداد ذو الأنبوبة المستدقة والعوامة .

رابعاً : طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط المتغير ويندرج تحتها :

قناطر الاحتجاز – القنوات .

خامساً : العدادات ذات الهدف :

سادساً : المجملات الميكانيكية :

المجملات الكهربائية

المجملات البنيوماتية .

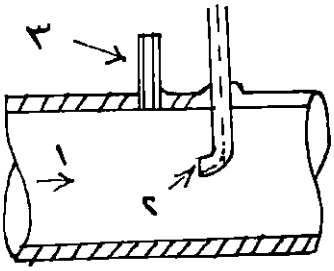
٦ / ٣ / ١ طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط للتغير :

ذكرنا فيما سبق أن العناصر الرئيسية المستخدمة فى طرق المساحة الثابتة وعلو الصغط المتغير تشمل أنابيب « بيتوت » و « فنتورى » و « دول » والألواح ذات الفتحات ، ونتناول فيما يلى أهم هذه العناصر وهى أنابيب « بيتوت » و « فنتورى » والألواح ذات الفوهات :

(ا) أنبوبة « بيتوت » الساكنة : الشكل رقم (٦٥) ، وتستخدم كثيراً لقياس سرعة المائع عند نقطة واحدة داخل ماسورة ، كما تستخدم فى قياس سرعة الطائرات بالنسبة للهواء ويتم القياس بوضع فتحة الصدم مباشرة فى خط التدفق والفتحة الساكنة عموديًّا على فتحة الصدم ويكون الضغط الفرق بين النتيجتين متناسباً مع السرعة . ويحسب معدل كمية التدفق من النسبة بين متوسط السرعة إلى السرعة عند نقطة القياس . ويجب اتخاذ عدد من الاحتياطات عند استعمال أنابيب « بيتوت » منها ما يلى :

أن يكون محور أنبوبة بيتوت موازيًا لمحور الماسورة وألا تتعرض الأنبوبة لأية اهتزازات .

أن يكون المائع إما غازاً أو سائلا فقط وأن تكون سرعة التدفق ما بين ٣ م / ث . ٣٠ م / ث للغازات أو الأبخرة وما بين ٠,١ م / ث . ٢,٤ م / ث للسوائل .



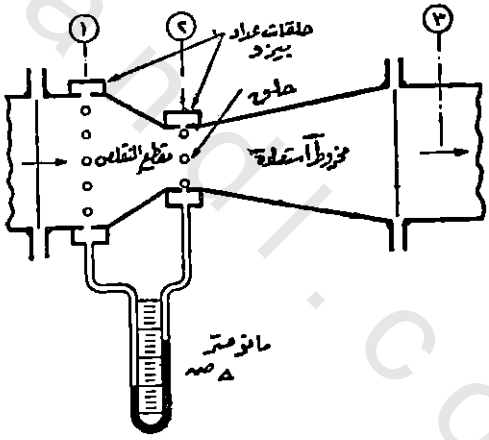
الشكل رقم (٦٥)

أنبوبة (بيتوت) ذات الفتحة الواحدة .

(١) إتجاه التدفق .

(٢) فتحة الصدم .

(٣) مأخذ الضغط الإستاتيكى «الساكن» .



شكل (٦٦)

أنبوبة فنورى .

(١) قطع متقارب .

(٢) الرقبة .

(٣) مخروط إستعادة .

الشكل رقم (٦٧)

لوح ذو فتحة حادة .

obeikandl.com

- أن تكون الماسورة خالية من الحواجز ومستقيمة على الأقل على طول قدره ٢٠ ق (ق = قطر الماسورة ذاتها) قبل مستوى القياس إلا إذا استعمل مقوم للتدفق (الانسياب)

- ألا يتعدى قطر رأس أنبوبة بيتوت الساكنة $\frac{١}{٢٥}$ من قطر القناة ذات القطر الثابت فى حدود + ٠,٥ ٪ .

- ألا تزيد زاوية التدويم على + ٥° من اتجاه محور الماسورة ويشترط عدم وجود أية تقلبات مموسة فى الضغط .

- يجب أن تكون الأنبوبة خالية ، على طول مساو لنصف قطرها على كلا جانبى مستوى القياس ، من أية تغييرات فجائية لقطرها أو أية بروزات ، ويجب ألا تقل المسافة بين أنبوبة « بيتوت » الساكنة والجدار عن ثلاثة أرباع قطر الأنبوبة . وتتلخص مزايا أنبوبة « بيتوت » الساكنة فى التالى :

لا تؤدى إلى فقد مموس فى ضغط المنبع أو الخط الرئيسى إلا إذا كانت كبيرة بالمقارنة مع المنبع ، كما أنه يمكن إدخالها فى فتحة صغيرة نسبية فى الخط الرئيسى دون حاجة لإعلاقه . لهذا فهى مفيدة جداً لتقدير التدفق فى منبع حتى يمكن تركيب أداة دائمة لقياس التدفق مثل النوع ذى الفتحة .

يمكن استخدامها لإيجاد توزيع السرعات فى خط رئيسى أو مصرف غازكما هو الحال عندما يكون المطلوب تحديد المكان الذى توضع به أنبوبة العينات فى مصرف غاز بهدف تحليل الغازات فى العادم .

قليلة التكاليف .

أما عيوب أنبوبة « بيتوت » فتنحصر فى أنه إذا لم تتخذ احتياطات واسعة لما أمكن الحصول على دقة عالية فضلاً عن أن الضغط الفرق الناتج وبصفة خاصة فى حالة قياس التدفق للغازات يكون صغيراً وبسبب هذا العيب فقد تم صناعة نوع معدل من أنبوبة « بيتوت » مثل أنبوبة « بيتوت فنتورى » .

٢ – أنابيب «فنتورى» :

تتكون أنبوبة فنتورى من مدخل ذى مقطع متقلص ، رقبة أسطوانية ومخروط استعادة متفرق (الشكل رقم ٦٦) . وتزداد سرعة المائع فى المدخل بينما يقل علو الضغط . وفى قطاع الرقبة يظل معدل التدفق ساكناً لأنه لا يوجد أى تغير فى المقطع العرضى ويقل هذا المعدل فى قطاع الاستعادة ، ويستعاد النقص فى علو السرعة بزيادة فى الضغط . وتؤدى الإستعادة النسبية الكبيرة عند هذه النقطة إلى فقد دائم فى حدود ١٠ – ٢٠ ٪ فقط من الضغط الفرقى عبر الأنبوبة ويقل هذا الفقد بزيادة قطر رقبة أنبوبة الفنتورى . وتتميز أنبوبة «فنتورى» بعدد من الميزات أهمها أن الفقد الكلى فى الضغط أقل من الفقد بالنسبة للفوهات والأقراص ذات الفتحات ، وهذه الميزة تظهر فائدتها جلية فى الحالة التى يكون فيها علو الضغط المتاح صغيراً . وتستخدم أنبوبة «فنتورى» لقياس التدفق للسوائل القذرة والتى يوجد بها مواد صلبة عالقة . وتتمثل العيوب الرئيسية للأنبوبة فى ارتفاع تكاليفها الأصلية ، وعدم إمكان تركيبها فى خط أنابيب موجود بالفعل ، وعندما تركب فى إحدى التجهيزات فإنه يستحيل تغيير مدى التدفق بهذه التجهيزات إلا إذا عدل جهاز قياس الضغط الفرقى أو استبدلت أنبوبة «فنتورى» بأخرى مناسبة .

ويلزم عند تركيب واستعمال أنبوبة «فنتورى» التأكد مما يلى :

أن مدخل أنبوبة «فنتورى» ذو قطر مساو لقطر الماسورة التى يراد قياس التدفق بها وأن محور الأنبوبة على امتداد محور الماسورة .

أن قطر فتحات الضغط عند المدخل لا يتعدى $\frac{1}{10}$ قطر مقطع المدخل ، وأن قطر فتحات الضغط لا يتعدى $\frac{1}{10}$ قطر الرقبة .

وبالإضافة إلى ما سبق يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوث أى تلف أو صدأ بالأنبوبة من الداخل لأن ذلك يؤثر على دقتها . وكذلك يجب اتخاذ الإجراءات

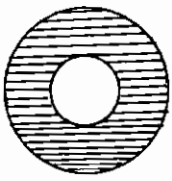
اللازمة لكى لا يكون أى جزء من مادة الوصل المستعملة بارزاً داخل الأنبوبة وكذلك لا يكون بالأنبوبة ذاتها أى بروز ناتج عن التصنيع .

الألواح ذات الفتحات :

يعتبر اللوح ذو الفتحة من أقدم الوسائل المستخدمة فى قياس التدفق . وقد استخدمت لأول مرة فى عهد الرومان كوسيلة للتحكم فى كمية الماء الموزعة إلى المجارى المائية المختلفة ثم استخدمت بعد ذلك لقياس تدفق الماء من خزان كبير إلى آخر وهى تستخدم الآن فى قياس تدفق الموائع فى المواسير .

وأبسط نوع من الألواح موضح بالشكل رقم (٦٧) وهو عبارة عن لوح معدنى رقيق به فتحة دائرية ذات حد قائم وهذه الفتحة مرتبة بحيث تكون متحدة المحور مع الماسورة .

وعند قياس تدفق الموائع القذرة ، أو التى تحتوى على مواد صلبة ، فإن الفتحة توضع بحيث تكون حافتها السفلية منطبقة على القاع السفلية الداخلية للماسورة ، وبذلك فإنها تسمح للمواد الصلبة بالمرور ، دون عائق ، وقد كان المعتاد فى هذه الحالة أن توضع مآخذ الضغط عند نقطة مقابلة قطرياً للنقطة التى تتطابق فيها الفتحة مع الماسورة غير أنه وجد فى الممارسات الحديثة أن ذلك ليس ضرورياً ، والآن فإنهما توضعان على الجوانب لأن الهواء المحبوس فى السائل يؤدى إلى خطوط نبضية فى قمة الماسورة . ويدخل اللوح فى الخط الرئيسى للمائع بين شفتين متجاورتين .



شكل رقم (٦٧)
لوح ذو فتحة

ويمكن استخدام اللوح ذى الفتحة لقياس تدفق الغازات أو السوائل أو الأبخرة غير أنه بالنسبة للسوائل القابلة للانضغاط فإن قيمة انخفاض الضغط بالمليمتر ماء (مقياس) يجب ألا تتعدى ١٤٩٣ مرة القيمة العددية لضغط مصعد التيار مقدرة بوحدة نيوتن / م٢ (مطلق) . ولا تصلح هذه الوسيلة لقياس تدفق الموائع اللزجة أو لقياس التدفق الحرج . وعندما يستخدم اللوح ذو الفتحة مع مآخذ فى الشفة فإن أدنى قطر داخلى للماسورة يكون ٥٠ مم وأدنى قطر للفتحة هو ٥ مم . وهى تصلح بصفة عامة ، لقياسات لنسب مساحات من صفر إلى $\frac{1}{2}$ وأرقام «رينولدز» ابتداء من ١٠٠٠ فأكثر لمواسير ذات أقطار من ٢٥ إلى ٥٠ مم . ونسبة مساحات من صفر إلى ٠,٧ وأرقام رينولدز من ٢٠٠٠٠ فأكثر لمواسير ذات أقطار ٥٠ مم وأكبر .

ويصنع اللوح عادة من الصلب الذى لا يصدأ أو معدن مونل أو معدن البنادق وقد استعملت أيضاً بالنسبة للموائع المسببة للصدأ ، ألواح من الأبونيت وغيره من المواد غير المعدنية ، ومن الضرورى ألا تصدأ مادة اللوح بواسطة المائع المقيس وإلا فإن حافة الفتحة سوف تصير مدورة بدرجة تؤثر على كل من خصائص التدفق ودقة القياس .

٦ ٣ ٢ طرق المساحة وعلو الضغط الثابت :

من المعلوم أنه بالنسبة لتجهيزات معينة يكون التدفق عبر العنصر الرئيسى ثابتا إذا تم تثبيت كل من مساحة هذا العنصر والضغط الفرق خلاله . ويستخدم هذا المبدأ كأساس لعمل العداد القمعى ومعاير التدفق ومنسوب التدفق الثابت . وقد استخدم العداد القمعى ومعاير التدفق كأنظمة تشغيل لاختبار عداد الإزاحة ذى السعات الكبيرة المستخدمة فى قياس تدفق الغاز وذلك فى مواقع استخدامها . وعندما يستخدمان كجهازى معايرة فإنه يتم توصيلها بمخرج عداد إزاحة ويصرفان فى الهواء .

ويتكون العداد القمعى من مجموعة من الفتحات فى لوح يقع فى نهاية خزان أو فى النهاية الواسعة لقمع . وتقوم الفتحات بالتصريف فى الهواء . ويظل الضغط الفرق عبر

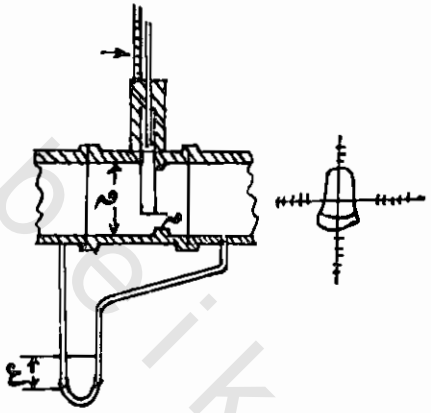
العداد ثابتاً طوال الاختبار ، ويتم التحكم فى معدل التدفق بعدد الفتحات المفتوحة بينما يتم إغلاق باقى الفتحات بواسطة سدادات من الكاوتش . ويفترض أن خصائص التدفق للعداد واحدة بغض النظر عن عدد الفتحات المفتوحة ، ويمكن استخدام المعادلة العامة لعداد الفتحة لحساب معدل التدفق غير أنه من المعتاد أن يتم حساب الضغط الفرقى الذى يجب استخدامه من معادلة تجريبية تشمل الوزن النوعى للغاز وضغطه . ومعاير التدفق عبارة عن نوع مطور من العداد القمعى فهو يتكون من شفتين لعدادات الفتحة مزودتين بمقاطع دخول وخروج طولها يتراوح بين (٨–١٠) أمثال قطر الماسورة . ويمكن أن يركب بين هاتين الشفتين عدد من الفتحات التبادلية ذات المقاسات المختلفة ، ويقاس الضغط الفرقى عبر الفتحة بواسطة مانومتر ، ويتم معايرة كل فتحة تحت ضغط فرقى يحسب من معادلة تجريبية ، بغاز معلوم الكثافة ويتم تثبيت معدل التدفق الاسمى . ويمكن استخدام الجهاز بعد ذلك لمراجعة أية تجهيزات لعداد تدفق الغاز . ويتكون عداد « التدفق من مستوى ثابت » من وعاء به فتحة فى أسفله يتدفق منه السائل الموجود بالخزان ويحافظ على أن يكون علو ضغط السائل ثابتاً وذلك بأية طريقة مناسبة ، وبذلك فإن التدفق عبر الفتحة يظل ثابتا طالما أن هذه الفتحة لم تتآكل أو تصير قذرة .

٦ / ٣ / ٣ طرق المساحة المتغيرة ، وعلو ضغط ثابت :

٦ / ٣ / ٣ / ١ عداد الحاجز المتحرك (البوابة) الشكل رقم (٦٨) :

تتغير مساحة الفتحة فى هذا العدد برفع أو إنزال البوابة يدوياً بواسطة محرك كهربائى متحكم فيه تلقائياً ، وتحرك البوابة بحيث تتم المحافظة على انخفاض ثابت فى الضغط عبر الفتحة ويقاس هذا الانخفاض فى الضغط بواسطة ماخذين على جانبى البوابة كما هو موضح بالشكل (٦٨) .

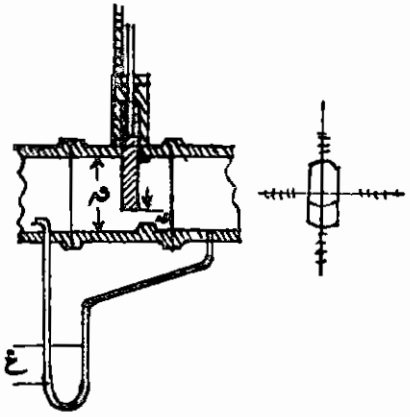
ويحدد موضع البوابة بواسطة تدريج . وعندما يزداد معدل تدفق المائع من الفتحة فإن الفتحة تزاد .



الشكل رقم (٦٨)

عداد الحاجز المتحرك (البوابة) .

ويمكن جعل التدفق عبر العداد معتمداً اعتماداً مباشراً على مساحة الفتحة لو أننا قمنا بقياس ضغط الدفع عند مأخذ مصعد التيار (كما فى الشكل ٦٨) بدلا من قياس الضغط الاستاتيكى المعتاد عند هذا المأخذ ، ويمكن إجراء ذلك بان يكون ماخذ مصعد التيار على شكل أنبوبة طرفها المفتوح يواجه مصعد التيار مباشرة كما بالشكل (٦٩) ، أى أنها تعمل مثل أنبوبة « بيتوت » .



الشكل رقم (٦٩)

عداد الحاجز المتحرك مصححاً لسرعة الاقتراب .

obeikandl.com

٦ / ٣ / ٣ / ٢ عدادات التدفق ذات المساحة المتغيرة (الروتامترات) :

يتكون الروتامتر من أنبوبة طويلة مدرجة ومستدقة بانتظام ، والمقطع الصغير فى العادة يكون عند القاع ، ومحور الأنبوبة رأسى . وتوجد عوامة تتحرك بحرية داخل الأنبوبة . وهذه العوامة قد تكون على شكل كرة بسيطة أو على شكل شاغول . ويوجد بالأنبوبة دليل مركزى واحد أو عدد من الدلائل الحرزية المشكلة بالأنبوبة تحافظ على إبقاء الثقل على محور الأنبوبة .

وعندما يزداد معدل التدفق فى العداد ، ترتفع العوامة فى الأنبوبة وبالتالى تزيد مساحة الحيز الحلقى ويظل الضغط الفرق عبر العوامة عند قيمة معينة ثابتة .

وإذا كانت كثافة المائع بالكيلوجرام لكل متر مكعب هى ث، والكثافة للعوامة ثع وحجمها ح ع فإنه ستكون هناك قوة مؤثرة على العوامة بسبب ميل المائع للالتصاق بسطوحها فى اتجاه التيار وبسبب لزوجة المائع غير أنه فى معظم الحالات تكون هذه القوة صغيرة ويمكن إهمالها . لهذا فإن العوامة تكون متوازنة تحت تأثير ثلاث قوى ، وزنها ودفع السائل إلى أعلى ، والفرق بين القوى الواقعة على سطحيها العلوى والسفلى ، أما الضغط على السطح الأدنى (السفلى) فهو ضغط الدفع ض (ق / م٢) للسائل المتدفق فى الحيز الحلقى بينما الضغط ض (ن / م٢) يؤثر على السطح العلوى سوف يكون الضغط الإستاتيكى فى مهبط التيار . وإذا كانت هى المساحة الفعالة للعوامة عموديًا على التيار ، فإن هذا الفرق فى ضغط يسبب قوة مقدارها (ض$_{١}$ - ض$_{٢}$) أ نيوتن فى اتجاه التيار .

وزن العوامة = (فرق الضغط × المساحة الفعالة) + الدفع على العوامة

$$ج_{ع}\, ث_{ع}\, ج = (ض_{١} - ض_{٢})\, أ + ج_{ع}\, ث_{م}\, ج$$

وباستخدام هذه المعادلة والمعادلة الخاصة بسرعة المائع من الحيز الحلقى

ع^{٢} = ٢ جـ لـ$_{٢}$ فإنه يمكن إثبات العلاقة التالية :

$$ت_{ح} = ث\ أ^{٢} \sqrt{\frac{٢\ جـ}{أ}\ جـ ع\ \frac{ث ع - ث م}{ث م}}\ م^{٣}/ث$$

حيث ت$_{ح}$ = التصرف الحجمى بالمتر المكعب فى الثانية الواحدة ، ح مجلة الجاذبية الأرضية

$$ت_{ك} = ث\ أ^{٢} \sqrt{٢\ جـ \frac{ج ع}{أ}\ (ث ع - ث م)}\ ث م\ كجم/ث$$

حيث ث هو ثابت التصريف للجهاز ، ويعتمد على نمط التدفق داخل الأنبوبة ونمط التدفق يعتمد ، إلى حد كبير ، على كل من لزوجة المائع ومعدل تدفقه داخل الأنبوبة . وبالنسبة لعائم على شكل شاغول من الرصاص فإن معدل التصريف يزيد زيادة مطردة بزيادة رقم رينولدز حتى ٧٠٠٠ ثم يظل ثابتاً .

الشكل رقم (٧٠)

كل من أ ، ب عوامة مصممة بحيث تقلل ميل السائل لحملها والتصميم ب أفضل من أ .

ويعطى عائم مثل ذلك الموضح فى شكل رقم (٧٠ أ) العداد قيمة ثابتة لمعامل التصريف لجميع أرقام رينولز أعلى من ٣٠٠ . وباستخدام عائم كما هو موضح بالشكل (٧٠ب) فإن ذلك يعطى العداد قيمة ثابتة لمعامل ث لجميع أرقام رينولدز أعلى من ٤٠ . وهذا يعطى الجهاز ميزة كبيرة إذ أنها تعطى معايرة ثابتة لمدى كبير من التدفقات ومدى كبير من اللزوجة للمائع المقيس . وهذا يتيح بناء سلسلة من العدادات ذات مدى كبير دون حاجة لمعايرة كل منها نظراً لأن معامل التصريف لهذا النوع من التدفق يظل ثابتاً قيمته ٠,٦١ وعندما يستخدم هذا العائم فإن جسم العوامة الذى يعطى وزنها يكون خارج السائل المتدفق .

تميز الروتامتر أيضاً بأنه يمكن إعداده ليعطى بياناً بوحدات الوزن التى لا تعتمد على تغييرات الطفيفة فى الوزن النوعى للسائل المقيس . وهذا ذو فائدة كبرى فى قياس السوائل البترولية وما يشابهها عندما يتغير الوزن النوعى فى حدود ضيقة .

ويمكن أن نرى من العلاقة الخاصة بالتصرف الكتلى ت ك ، أنه يعتمد على

$$\sqrt{(ث_ع - ث_م)\, ث_م}$$

فإذا كانت ث ع = ٢ ث م حينئذ تكون ث ع - ث م = ث م

وبالتالى فإنه بالنسبة للتغييرات الطفيفة فى ث ع فإن

(ث ع - ث م) ث م سوف يبقى ثابتاً إلى حد كبير ، حيث تعوض الزيادة فى ث ع بنقص مناظر فى ث ع – ث م . ولهذا فإنه عند قيامس سائل بترولى وزنه النوعى حوالى ٠,٧٢) فى حالة وصنع العوامة من مادة وزنها النوعى ١,٤٤ فإن حاصل ضرب (ث ع – ث م) ث م سوف يبقى ثابتاً بدرجة معقولة لقيم ث م من ٠,٧٠ إلى ٠,٧٤ كما هو موضح بالجدول التالى :

ث م	(ث ع - ث م) ث م
٠,٧٠	٠,٧٤ × ٠,٧٠ = ٠,٥١٨٠
٠,٧٢	٠,٧٢ × ٠,٧٢ = ٥١٨٤
٠,٧٤	٠,٧٠ × ٠,٧٤ = ٥١٨٠

ويمكن عن طريق صنع عوامات من مواد مختلفة استخدام الروتامترات فى قياسات التدفق لعدد كبير من السوائل .

٤/٣/٦ عدادات علو الضغط المتغير والمساحة المتغيرة :

لكى يتم زيادة مدى عدادات التدفق التى تعتمد فى قياسها على الضغط الفرق فإنه تم تطوير عداد يتم فيه قياس الضغط الفرق عبر فتحة تتزايد مساحتها مع التدفق . وبهذه الطريقة فإنه أمكن قياس تدفقات تبلغ ١ / ١٠٠٠ من أقصى حد للعداد وبدقة أفضل من ± ١ ٪ .

obeikandl.com