

الباب السادس

قياس تدفق الغازات والسوائل

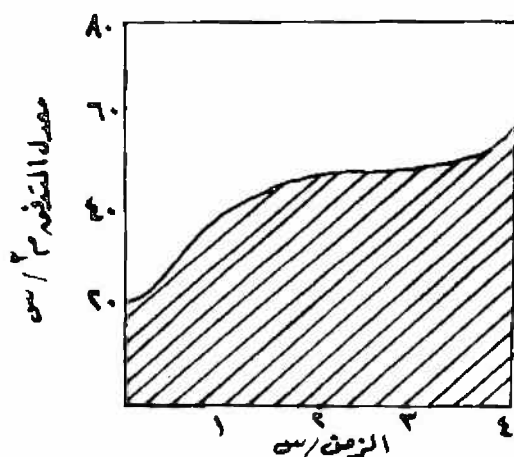
تمثل قياسات تدفق الغازات والسوائل نسبة مئوية كبيرة من القياسات التي تجرى في الصناعات الكيميائية ، بل ربما أمكننا أن نقول إنها أكثر أنواع القياسات أهمية في مجال الصناعات الكيميائية ، فلولا قياسات التدفق لكان خلط المواد بالنسبة المحددة لها وضبط الجوده والإنتاج المستمر . . . إلخ من الأمور المستحيلة تقريباً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

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

وقد أدى هذا التنوع الكبير في 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 وهي العدادات التي تعطي الكمية الكلية التي تتدفق في زمن معين ويمكن الحصول على متوسط معدل التدفق بقسمة قيمة الكمية الناتجة على الزمن الذي 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)

١/٦ 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 أوعدادات 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 وبالتالي فإنها تتأثر بتغير درجة الحرارة لأنها تؤثر على كثافة كل من الوعاء والسائل . غير أن هذا التأثير يكون صغيراً بصفة عامة ، ويسجل عدد مرات انقلاب الوعاء بعدد ويكون ذلك مقياساً للوزن الكلى الذى يتدفق .

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

٦ / ١ / ٢ عدادات حجوم السوائل :

٦ / ١ / ٢ / ١ العداد ذو الحزان :

يتكون العداد فى أبسط صورة من خزان واحد يملأ ثم يفرغ تبادلياً ويسمح للحزان 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 الحزان وتوجهها إلى الحزان الثانى ، وفى نفس الوقت يفتح صمام فى أسفل الحزان الأول فيسمح للسائل بالتدفق إلى خارجه . . وهكذا يمتلئ أحد الخزائين 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 في التطبيقات التي لها دقة عالية وتكرارية جيدة ، ولا تعتمد دقتها على أية بضات تحدث في تدفقه ، كما أنه يوفر إمكانية القياس بدقة للسوائل العالية اللزوجة وبدرجة أفضل مما يتيحها عدادات التدفق الأخرى ، لذلك فإن هذه العدادات تستخدم كثيراً كأساس لحساب قيم كميات البترول أو الماء . كما تستخدم في العمليات الصناعية التي تشمل إدخال كميات معينة بعدها يقطع التدفق تلقائياً .

ومبدأ القياس في عداد الإزاحة هو أن السائل عند تدفقه عبر العداد فإنه يحرك عنصر القياس الذي يغلق حجرة القياس ويقسمها إلى مجموعة من حجيرات القياس التي نحوي كل منها حجماً محدداً ، ويتحرك 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 تشبيك المسننات أثناء المعايرة بحيث يصير الفرق بين الكمية الحقيقية وتلك الميية بواسطة العداد أقل ما يمكن على كامل السعة المقسة للعداد . وينتج الفرق بين الكمية الحقيقية والميية عن التسرب خلال الخلووص الميكانيكي للأجزاء المتحركة ويعتمد هذا التسرب على عوامل كثيرة منها حجم الخلووص بين عنصر القياس وحجرة القياس ، ويمكن تقليل التسرب الناتج عن هذا الخلووص بتضييق تفاوتات التصنيع ، وأيضاً فإن التغييرات في درجة الحرارة تزيد حجم الخلووص 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 تؤدي إلى زيادة الفقد في الضغط

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

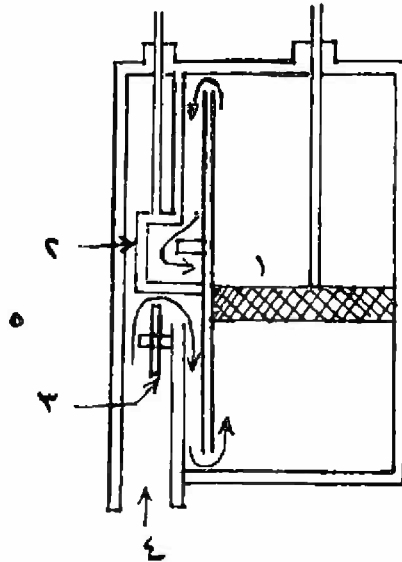
ويجدر بنا أن نلاحظ أن الأخطاء الرئيسية في عدادات الإزاحة الموجبة تنتج عن فروق في درجة الحرارة والكثافة والزوجة للسائل في ظرف التشغيل عن القيم المناظرة لها عند المعايرة . لذلك فإنه من الممارسات العملية أن يتم معايرة العدادات في مواقع استخدامها بواسطة معايير العدادات . وقد يكون المعايير عبارة عن خزان بسيط سبق معايرته بالمقارنة مع مقياس أمامي دقته حوالي $\pm 0.04\%$. وحجم هذا الخزان يمكن تحديده بدقة $\pm 0.1\%$. ويوجد نوع آخر من معايرات العدادات عبارة عن أبوبة 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 وهي في أثناء ذلك تزيح حجماً معيناً ومعلوماً من السائل ، وقد وضع المكشافان بحيث تكون المسافة بينهما كافية لتعطي الدقة المطلوبة وبعض صانعي هذه المعايرات يدعى لها دقة $\pm 0.02\%$.

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 الحقيقي وبنفس معدل التدفق الذي ستجرى به القياسات بعد ذلك ويجرى الضبط اللازم للمحافظة على دقة القياس .

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

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

المكبس الترددي - المكبس المتذبذب (المكبس الدوار) القرص المترنح الدوار
 الحلزوني المحدد - الريشة المنزلقة - الريشة المترددة - المسننات البيضاوية . ويبين الشكل
 رقم (٦٣) العداد ذا المكبس الترددي .



الشكل رقم (٦٣)

عداد التدفق ذو المكبس الترددي

- (١) مكبس
- (٢) صمام ترفيق .
- (٣) دليل .
- (٤) تدخل المائع .
- (٥) مخرج المائع .

وهذا العداد يشبه كثيراً ، من حيث التركيب ، المكبس والإسطوانة في 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 في مشواره تفصل قبة الأسطوانة عن جانب المخرج وتفتح لدخول الماء . وفي نفس الوقت يفتح قاع الأسطوانة إلى جانب المخرج ولكنه يكون مقطوعاً عن ماء المدخل . ويؤدي ضغط الماء الداخل إلى تحريك المكبس إلى أسفل حيث ينصرف الماء من أسفله إلى أنبوبة التصريف . وعندما يصل المكبس إلى أدنى وضع في مشواره فإن الصمام يعمل مرة ثانية وتكرر الدورة . وتقوم الذراع الخارجية التي تسب حركة الصمام المتزلق في الوقت ذاته بإدارة عداد يعطى مجموع كمية المائع التي 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 فتحة المدخل والمخرج وتستخدم الحركة الترددية للمكابس في تشغيل عداد يعطى إجمالى كمية المائع التي تدفقت عبر العداد .

٦ / ٢ عدادات معدل التدفق :

إذا كان مقطع ماسورة هو ١ مرأ مربعاً وسرعة السائل بها منتظمة على مقطعها وفيها ع م / ث فإن ا ع مرأ مكعباً هو حجم السائل الذى يتدفق فيها في الثانية الواحدة . وفي الحقيقة فإن السرعة لا تكون منتظمة على مقطع الأنبوبة وإنما يكون 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 لنتاج ث × أ × ع م / ث حيث ث بابت الماسورة ويمثل العلاقة بين المتوسط

الحقيقي 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 التدفق ، حسب نوع المائع المقيس ، إلى عدادات معدل التدفق للسوائل وتشمل عدادات الريشة المنحرفة وعدادات الريشة الدوارة وعدادات الريشة الحلزونية والعدادات التوربينية والعدادات التوافقية والعدادات المغناطيسية وعدادات التدفق فوق السمعى . والقسم الثانى عدادات معدل التدفق للغازات فتشمل عدادات الريشة الحارفة وعدادات الريشة الدوارة والعدادات الحرارية .

١ / ٢ / ٦ عدادات معدل التدفق للسوائل :

١ / ١ / ٢ / ٦ عداد الريشة الدوارة :

يتكون هذا العداد من عدد من الأجنحة مرتبة حول محور محيى قرص أو مجرد موصلة قطرياً على مسافات حول محور دوران بحيث تكون جناح 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 كمية السائل الكلية التى تدفقت عبر العداد . ويتم تنظيم العداد بتحريك عارضة مضبطة تؤثر على السحب الواقع على الريشة الدوارة . ويقاس كل من التدفق الأمامى والحلقى 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 للصدا . 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 في المجارى المغلقة فإنه يتم استبدال المروحة ذات الريش الدوارة بمروحة حلزونية مركبة مركزياً في جسم العداد ويكون محورها في 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 التي لا تزال مستخدمة بالصناعة حتى الآن . وهي تمتاز على جميع الطرق الأخرى بالبساطة والدقة وقلة التكاليف . وقد يمكن القول إن عدادات التدفق التي تعتمد في قياسها على قياس الضغط الفرق هي أكثر أنواع العدادات انتشاراً واستخداماً . وتعتمد هذه العدادات في قياسها على أساس أنه عندما يدخل اختناق في مجرى التيار فإن سرعة السائل أو الغاز المتدفق ، وبالتالي طاقته الحركية ، تزداد وحيث إن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى ، فإن الزيادة في 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 T تمثل معدل التدفق الحجمى للمائع ، θ كثافته ، M مساحة مقطع الماسورة أو الأنبوبة التى يتدفق بها المائع ، ΔP الضغط الفرق عبر الاختناق الموضوع في مجرى هذا التيار . فإنه يمكن إثبات العلاقة التالية باستخدام نظرية « برنولى » :

$$T = K \cdot \frac{\Delta P}{\theta} \quad \text{حيث } K \text{ ثابت .}$$

وهذه العلاقة تستخدم في حساب T .

ويمكن إذا تم تثبيت مساحة مجرى التدفق قياس التدفق بواسطة قياس علو الضغط ، ويمكن أيضاً المحافظة على معدل تدفق ثابت بتثبيت قيمتي 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 في 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 والتي تشمل العناصر الرئيسية في خطوط أو أنابيب التدفق :

(أ) أنبوبة « بيتوت » الساكنة .

(ب) أنبوبة « فتورى » ، وفوهة التدفق .

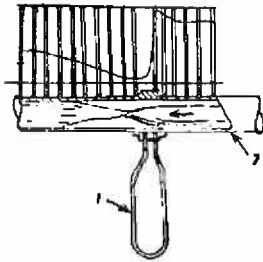
(جـ) أنبوبة « بيتوت -- فتورى » .

(د) أنبوبة « دول » .

(هـ) اللوح ذو الفتحة .

وبشأ 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 في الباب الخامس .

الشكل رقم (٦٤)



التدفق عند اختراق يؤدي إلى تشوه فرق ضغط يتناسب مع حول التدفق

(١) مانيومتر زئبق

(٢) أنبوبة بتدفق هـ لائل

(٣) ١٧ أنابيب زحاجة من الضغط الاستاتيكي
ويلاحظ أن أدنى قيمته السابقة للاحتراق .

وتتشابه جميع العناصر الرئيسية السابقة فيما يلي :

- ١ - إن كلا منها يحتاج إلى جهاز لقياس الضغط الفرقى .
- 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 «فتورى» .
- ٢ - تكون استعادة الضغط أقل ما يمكن بالنسبة للوح ذى الفتحة .
- ٣ - أنبوبة «فتورى» أكثرها تكلفة فيما للوح ذو الفتحة أقلها تكلفة .
- ٤ - اللوح ذو الفتحة أسهل فى التصنيع عن الوسائل الأخرى .
- ٥ - يملأ تيار التدفق فتحات الفتورى والفوهة ، ولكنه يتقلص عند مروره بفتحة اللوح حيث تصل نسبة الحفض فيه إلى حوالى ٤٠ ٪ .
- ٦ - معامل التدفق للفتورى والفوهة يظل ثابتاً تقريباً فى مدى تشغيلها ولكن معامل التدفق لفتحة اللوح يتغير قليلاً .
- ٧ - تتأثر « الفتورى » 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 تحتهما العدادات التالية :

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

رابعاً : طرق المساحة المتغيرة وعلو الضغط المتغير ويندرج تحنها :

قناطر الاحتجاز - القنوات .

خامساً : العدادات ذات الهدف :

سادساً : المحملات الميكانيكية :

المحملات الكهربائية

المحملات البيومائية .

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

ذكرنا فيما سبق أن العناصر الرئيسية المستخدمة في طرق المساحة الثابتة وعلو الضغط المتغير تشمل أنابيب « بيتوت » و « فتورى » و « دول » والألواح ذات الفتحات ، ونناول فيما يلى أهم هذه العناصر وهى أنابيب « بيتوت » و « فتورى » والألواح ذات الفوهات : (١) أنبوبة « بيتوت » الساكنة : الشكل رقم (٦٥) ، وتستخدم كثيراً لقياس سرعة المائع عند نقطة واحدة داخل ماسورة ، كما تستخدم في قياس سرعة الطائرات بالنسبة للهواء ويتم القياس بوضع فتحة الصدم مباشرة في خط التدفق والفتحة الساكنة عمودياً على فتحة الصدم ويكون الضغط الفرق بين النتيجتين متناسباً مع السرعة . ونحسب 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 موازياً لمحور الماسورة وألا تتعرض الأنبوبة لأية اهتزازات .

أن يكون المائع إما عارياً أو سائلاً فقط وأن تكون سرعة التدفق ما بين ٣٠ م / ث . ٣٠٠ م / ث للغازات أو الأنجزة وما بين ٠,١ م / ث . ٢,٤ م / ث للسوائل .

- 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 (الأنسياب)

- ألا يتعدى قطر رأس أنبوبة بيتوت الساكنة $\frac{1}{25}$ من قطر القناة ذات القطر الثالث في حدود + ٠.٥ % .

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

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

لا تؤدي إلى فقد مموس في ضغط المنبع أو الحط الرئيسي إلا إذا كانت كبيرة بالمقارنة مع المنبع ، كما أنه يمكن إدخالها في فتحة صغيرة نسبية في الحط الرئيسي دون حاجة لإغلاقه . لهذا فهي مقبلة جداً لتقدير التدفق في منبع حتى يمكن تركيب أداة دائمة لقياس التدفق مثل النوع دى الفتحة .

يمكن استخدامها لإيجاد توزيع السرعات في خط رئيسي أو مصرف غاز كما هو الحال عندما يكون المطلوب تحديد المكان الذي توضع به أنبوبة العينات في مصرف غاز بهدف تحليل الغازات في العادم .

قلبية التكليف .

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

٢ - أنابيب «فتورى» :

تتكون أنبوبة فتورى من مدخل ذى مقطع متقلص ، رقبة أسطوانية ومحروط استعادته 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 الاستعادة النسبية الكبيرة عند هذه النقطة إلى فقد دائم فى حدود ١٠ - ٢٠ ٪ فقط من الضغط الفرق عبر الأنبوبة ويقل هذا الفقد بزيادة قطر رقبة أنبوبة الفتورى . وتميز أنبوبة «فتورى» 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 . ونستخدم أنبوبة «فتورى» لقياس التدفق للسوائل القذرة والتى يوجد بها مواد صلبة عالقة . وتمثل العيوب الرئيسية للأنبوبة فى ارتفاع تكاليفها الأصلية ، وعدم إمكان تركيبها فى خط أنابيب موجود بالفعل . وعندما تتركب فى إحدى التجهيزات فإنه يستحيل تغيير مدى التدفق بهذه التجهيزات إلا إذا عدل جهاز قياس الضغط الفرق أو استبدلت أنبوبة «فتورى» بأخرى مناسبة .

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

أ أن مدخل أنبوبة «فتورى» ذو قطر مساوٍ لقطر الماسورة التى يراد قياس التدفق
ب وأن محور الأنبوبة على امتداد محور الماسورة .

أن قطر فتحات الضغط عند المدخل لا يتعدى $\frac{1}{16}$ قطر مقطع المدخل ، وأن قطر فتحات الضغط لا يتعدى $\frac{1}{16}$ 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

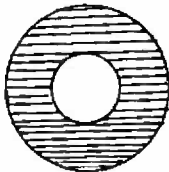
اللازمة لكي لا يكون أى جزء من مادة الوصل المستعملة بارزاً داخل الأنبوبة وكذلك لا يكون بالأنبوبة ذاتها أى بروز ناتج عن التصنيع .

الألواح ذات الفتحات :

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

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

وعند قياس تدفق الموائع القادرة ، أو التي تحتوى على مواد صلبة ، فإن الفتحة توضع بحيث تكون حافتها السفلية معبقة على القاع السفلية الداخلية للماسورة . وبذلك فإنها تسمح للمواد الصلبة بالمرور ، دون عائق ، وقد كان المعتاد في هذه الحالة أن توضع مأخذ الضغط عند نقطة مقابلة قسرياً للنقطة التي تتطابق فيها الفتحة مع الماسورة غير أنه وجد في الممارسات الحديثة أن ذلك ليس ضرورياً ، والآن فإنها توضعان على الجوانب لأن الهواء المحبوس في السائل يؤدي إلى خضوط بضية في قمة الماسورة . ويدخل اللوح في الحط الرئيسي 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 / م^٢ (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 ٥٥ مم. وهى تصلح بصفة عامة لقياسات لنسب مساحات من صفر إلى $\frac{1}{4}$ 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 مويل 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 ثابتاً إذا تم تثبيت كل من مساحة هذا العنصر والضغط الفرقى خلاله. وبستخدم هذا المبدأ كأسس لعمل العداد القسعى ومعيار التدفق ومسبب التدفق الثابت. وقد استخدم العداد القسعى ومعيار التدفق كأئمة تشغيل لاختبار عداد الإزاحة ذى السعات الكبيرة المستخدمة فى قياس تدفق الغاز وذلك فى مواقع استخدامها. وعدم يستخدمان كجهازى معايرة فإنه يتم توصيلهما بمخرج عداد إزاحة وبصرفان فى الهواء.

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

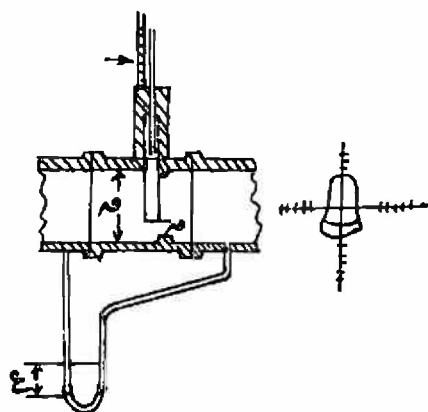
العداد ثابتاً طوال الاختبار ، ويتم التحكم في معدل التدفق بعدد الفتحات المفتوحة بينما يتم إغلاق باقي الفتحات بواسطة سدادات من الكاوتش . ويفترض أن خصائص التدفق للعداد واحدة بغض النظر عن عدد الفتحات المفتوحة ، ويمكن استخدام المعادلة العامة لعداد الفتحة لحساب معدل التدفق غير أنه من المعتاد أن يتم حساب الضغط الفرقى الذى يجب استخدامه من معادلة تجريبية تشمل الوزن النوعى للغاز وضغطه . ومعايير التدفق عبارة عن نوع مطور من العداد القمعى وهو يتكون من شفتين لعدادات الفتحة مزودتين بمقاطع دخول وخروج طوطا 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 ثابتاً طالما أن هذه الفتحة لم تتآكل أو تصير قدرة .

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

٦ / 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 مآخذين على جانبي البوابة كما هو موضح بالشكل (٦٨) .

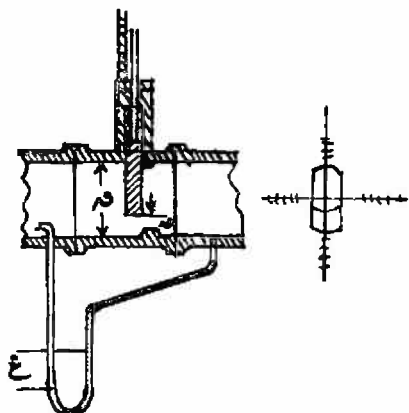
ويحدد موضع البوابة بواسطة تدريج . وعندما يزداد معدل تدفق المائع من الفتحة فإن الفتحة تزداد .



الشكل رقم (٦٨)

عداد الحاحز المتحرك (الوابة) .

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



الشكل رقم (٦٩)

عداد الحاحز المتحرك مصححاً لسرعة الاقتراب .

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

يتكون الروتامتر من أنبوبة طويلة مدرجة ومستدقة بانتظام ، والمقطع الصغير في 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 الحزبية المشكلة بالأنبوبة يحافظ على إبقاء الثقل على محور الأنبوبة .

وعندما يزداد معدل التدفق في العداد ، ترتفع العوامة في الأنبوبة وبالتالي تزداد مساحة الحيز الحلقى ويظل الضغط الفرقى عبر العوامة عند قيمة معينة ثابتة .

وإذا كانت كثافة المائع بالكيلوجرام لكل متر مكعب هي θ والكثافة للعوامة θ_c وحجمها C فإنه ستكون هناك قوة مؤثرة على العوامة بسبب ميل المائع للاتصاق بسطوحها في اتجاه التيار وبسبب لزوجة المائع غير أنه في 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 سطحها العلوى والسفلى ، أما الضغط على السطح الأدنى (السفلى) فهو ضغط الدفع θ_c (ق / ٢٠) للسائل المتدفق في الحيز الحلقى بينا الضغط θ (ن / ٢٠) يؤثر على السطح العلوى سوف يكون الضغط الإستاتيكي في مهبط التيار. وإذا كانت هي المساحة الفعالة للعوامة عمودياً على التيار ، فإن هذا الفرق في ضغط يسبب قوة مقدارها $(\theta_c - \theta)$ (ض - ض) أ نيوتن في اتجاه التيار .

وزن العوامة = (فرق الضغط $\times$ المساحة الفعالة) + الدفع على العوامة

$$\text{جمع ث ج} = (\theta_c - \theta) \text{ أ} + \text{جمع ث ج}$$

وباستخدام هذه المعادلة والمعادلة الخاصة بسرعة المائع من الحيز الحلقى

ع^٢ = ٢ ج ل_٢ فإنه يمكن إثبات العلاقة التالية :

$$ت ح = ث أ \sqrt{\frac{٢ ج}{١} \frac{ت ح - ث م}{ث م}} \quad \text{ث م} \quad \text{ث م} \quad \text{ث م}$$

حيث ت ح = التصريف الحجمى بالمتر المكعب فى الثانية الواحدة ، ح مجلة الجاذبية الأرضية

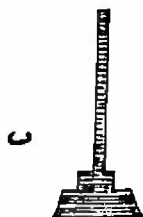
$$ت ك = ث أ \sqrt{\frac{٢ ج}{١} (ت ح - ث م)} \quad \text{ث م} \quad \text{ث م} \quad \text{ث م}$$

حيث ث هو ثابت التصريف للجهاز ، ويعتمد على سمط 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 في شكل رقم (٧٠ أ) العداد قيمة ثابتة لمعامل التصريف لجميع أرقام رينولدز أعلى من ٣٠٠ . وباستخدام عائم كما هو موضح بالشكل (٧٠ ب) فإن ذلك يعطى العداد قيمة ثابتة لمعامل 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 تغيرات اللزوجة في الوزن النوعي للسائل المقيس . وهذا ذو فائدة كبيرة في قياس السوائل البترولية وما يشابهها عندما يتغير الوزن النوعي في حدود ضيقة . ويمكن أن نرى من العلاقة الخاصة بالتصرف الكتلي ρ ، أنه يعتمد على

$$\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = \frac{\rho}{\rho_0} \quad \text{ث م} \quad \text{ث م}$$

فإذا كانت $\rho = 2$ ث م حينئذ تكون $\rho = 1$ - ث م = ث م

وبالتالى فإنه بالنسبة للتغيرات اللزوجة في ρ فإن

(ث م - ث م) ث م سوف يبقى ثابتاً إلى حد كبير ، حيث تعوض الزيادة في ث م

بنقص مناهظر في ث م - ث م . ولهذا فإنه عند قيام سائل بترولي وزنه النوعي حوالى

(٠,٧٢) في حالة وصنع العوامة من مادة وزنها النوعي ١,٤٤ فإن حاصل ضرب (ث م -

- 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	$٠,٧٤ \times ٠,٧٠ = ٠,٥١٨٠$
٠,٧٢	$٠,٧٢ \times ٠,٧٢ = ٥١٨٤$
٠,٧٤	$٠,٧٠ \times ٠,٧٤ = ٥١٨٠$

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

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

لكي يتم زيادة مدى عدادات التدفق التي تعتمد في 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 $\pm ١\%$.