

洋为中用

毛泽东

资料2

流量测量技术与仪表译文集

第二集

一机部热工仪表科学研究所

一九七〇年十二月

最 高 指 示

……一切外国的东西，如同我們对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃腸运动，送进唾液胃液腸液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我們的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我們有益的经验；我們需要的是这样一种态度。

外国一切好经验，好的科学技术，我們都要吸收过来，为我們所用。拒绝向外国学习是不对的。当然，迷信外国认为外国的东西都是好的，也是不对的。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

流量测量技术与仪表译文集

第二集

目 录

流量测量的物理原理	1
涡轮流量计，其结构、测量性质以及作为间接式质量流量计 的用法	19
关于涡轮流量计的改进	49
漩渦流量计	52
涡轮流量计的特性及应用	58
涡轮流量计	68
低温流量测量中用的校验系统和涡轮流量变送器	75
质量流量计（美国专利№ 3201987）	88
质量流量计（美国专利№ 3043139）	94
质量流量计（美国专利№ 2897672）	100
位置控制式质量流量计	102
面积式流量计	104
用于小流量测量的孔板流量部分	115

流量测量的物理原理

Zmsr 1969 H.10, 413~418

引言

生产过程中调节技术的不断采用，对流量测量关于准确度和可靠性提出了新的要求。在许多情况下，尤其多相介质时，习惯的测量方法往往失败。本文的目的是提供一个流量测量用的物理原理综览。这些技术具有激发作用，以便应用到测量技术的其他部门。

为尽快熟悉本专业可参阅文献〔1〕至〔6〕。为更好地了解其效应可参阅文献〔95〕至〔98〕。

1. 定义

容积流量 q_v 给出每时间单位通过一个截面流出的体积 v ：

$$q_v = \frac{d v}{d t} \quad (1)$$

只有在测量条件（压力 p 、温度 T 、相位）已知的情况下才能再现。

质量流量 q_m 是每时间单位通过一个截面流动的质量 M 的尺度：

$$q_m = \frac{d M}{d t} \quad (2)$$

密度 ρ 则把容积流量和质量流量之间的关系连起来：

$$q_m = q_v \rho (T, p, \text{相}) \quad (3)$$

2. 速度的分布

由于流动的介质本身和对管壁的摩擦沿着流体截面产生一个特性的速度分布。流速的纵断面图是平均速度的、管道几何尺寸的、粘度的和流体先行的函数。

由于上述各种影响测量较为困难，平均流速 \bar{v} 可从容积流量方程(4)计算：

$$q_v = \bar{v} A \quad (4)$$

A 为管道截面。

平均流速和流体截面 A 的乘积是和容积流量相等的。是层流还是紊流，关键在于雷诺数。

3. 速度测量

流量测量常常会追溯到平均流速的测量。

3.1. 流体的惯性特质

3.1.1. 离心力

一个介质在弯管或环管流动时，使弯管内半径与外半径间引起压差的是离心力，是流量的一个函数，〔2〕和〔7〕到〔9〕。

3.1.2. 脉冲定理

每一流动介质具有一个脉冲，因此对流近物体产生一个力。挡板式流量指示器、浮子式流量计和靶式流量计都利用这种力来进行测量，〔2〕和〔10〕到〔18〕。

3.1.3. 角动量定理

一个流动着的环管形成一个迴转器。通过这样一个迴转器的角动量轴的扭转，产生一个与质量流量成比例的旋进力矩，〔19〕和〔20〕。

试把一个流动的介质要它沿管轴转动或者要它制动，就需要对角动量变化有一个力矩，这个力矩是与质量流量成比例的。许许多多不同的这类质量流量计已建议出来，〔2〕〔4〕〔6〕和〔21〕。

3.2. 一个流体的能量关系

劈开摩擦力，一个流体的动的和势的总能量是恒定的。

蓓诺尔 (Bernoulli) 方程描述了各值之间的关系

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\rho} \quad (5)$$

g 为加速度，h 为位置高度，p 为静压，v 为流速。

3.2.1. 动压法和节流法

在管道某一点的流速可从动压

$$p_0 = p + \frac{\rho v^2}{2} \quad (6)$$

计算出来〔2〕。

截面逐渐缩小，流体的流速就增高。根据方程(5)静压就减小。流过喷嘴或孔板流体的静压差是平均流速，也就是流量的一个函数。用孔板或喷嘴的流量计目前在生产测量技术上用得最多，〔1〕〔2〕和〔5〕。

3.2.2 麦纳斯 (Magnus) 效应

在一个流体中旋转的圆柱体上，它的旋转轴是垂直于流体的，加上一个既垂直于流向又垂直于旋转轴的力，这个熟悉的、作为麦纳斯效应的现象，乃由于在圆柱体上的速度所需的静压差〔4〕。

3.2.3 托翼浮力

山姆斯 (Sams) 〔22〕利用了浮力，亦即装在管道内托翼上下两面之间的压差来测量流量。

3.3 电的动能现象

在液体与固体之间的界面上近壁聚有一种符号的电荷，而同数的另一种符号的电荷则聚在距壁一个距离的液体中 (电偶层)。

3.3.1 流动电势

如果一种弱导电液体加压通过粘土膜或玻璃毛细管，就能看到两端之间有个流动电势。原因是电偶层的部分移动在流向中产生的所谓流动电流。流动电势不断增高直至欧姆反向电流与流动电流相等为止。在平衡状态下的电势差是容积流量的一个尺度〔23〕和〔25〕。

3.3.2 充电电流

在很小导电的液体下电偶层能增长到几个毫米厚，使得进入到紊流部分里去。紊流的机械力克服静电吸力而使电偶层的电荷释放出来。因此电荷就聚在流体核心里。这个充电过渡现象称为充电电流。它是容积流量的一个函数。这个充电电流只能在欧姆反向电流把它平衡到管壁之前看到〔23〕和〔25〕。

一种类似的流量计在文献〔24〕里有所叙述。

3.4. 电磁感应

3.4.1. 没有外磁场的流量计

一个通过导电液体在管道里沿管道轴向流动的电流，会产生一个磁场，它的磁力线沿管道的轴聚焦成圆圈。液体流动时依感应定律在径向感应出一个电场。

管轴与管壁之间的电压是和容积流量成正比的〔26〕和〔27〕。

3.4.2. 带外磁场的流量计

一个均匀的磁场对管轴直交的，通过一根非导体的测量管，那末垂直于磁场和流向就感应出一个电压。这个电压通过两块平放在管壁的电极引出。这电压是与容积流量成正比的〔28〕至〔34〕。这个方法在生产测量技术中具有重大意义。

从转杯式马达的原理出发，能做成一种不接触式、无电极的感应流量计。在横对流体的交变磁场影响之下，产生移动感应的涡流，它们的磁场能用一个测量线圈里感应出的电压来证明〔25〕。考莱 (Cowley) 的流动检测器就是依这个原理工作的〔35〕。

3.5. 以流体为条件的涡流力

一个强烈的直流磁场穿透一根塑料测量管。在这管里流动的导电液体里感应起涡流。励磁磁场与涡流之间的力作用 (参比瓦顿霍夫 (Waltenhof) 摆) 使励磁磁铁依流速对着流向中的弹力偏移〔25〕。

如把直流磁场以流速顺着流向移动，那末这反动力就消失。电导率变动对测量结果并无影响。沿着管道的三个磁回路由不同频率的三相电流供电 (参比感应泵)。这个合力磁场矢量以与旋转磁场频率成比例的速度在流向中移动。调节频率使力在磁回路里不起作用〔25〕。类似的方法在专利中有所描述〔36〕。

3.6. 流体和一个波现象之间的速度重迭

3.6.1. 多普勒 (Doppler) 效应

满司保 (Mößbauer) 效应适用于对专门预加处理的液体进行流量测量。一个静止射线源发射“无反冲”的 γ 量子 (对管轴成锐角) 到被测液体里去。同样的同位素以晶体形式加入流动介质里。在

射线源与射线接收器之间是被测液体。在静止状态时液体中的同位素把射线几乎全部吸收掉。由于多普勒位移在流动的液体里吸收较小，而射线接收器里的计数率就增高了〔37〕至〔39〕。

3.6.2. 传播时间变动

如果从一个静止源发射光或超声波到流动方向里去，那末对静止的观察者来讲，波的传播时间、从而流速就成为速度重迭的结果。

用光时，时间差别很小，可用干涉仪证明〔40〕至〔43〕。

为去除音速变化的影响，用两通道带着或对着流体测量而后计算超声波的传播时间差。用相位法时两连续工作的超声通道的传播时间差作为相位移记录下来。用电子装置很容易把相位移测量出来的。

用频率法时在那通道里不断发射出去，直到音波前缘达到接收器为止。当接收器上不再收到音波时发射器才重又工作等等。两条对流通道的脉冲频率差是与流量成正比的〔21〕和〔44〕至〔47〕。

3.6.3. 声波的偏转

横对流体发射的超声束的偏转将被作为“漂移法”来测量。这种偏转测量法一般归纳为声（能）级的测量法〔21〕。

4. 脉冲法（以强度计值或浓度计值）

4.1. 质量接种

在流动的介质上接种以已知浓度和质量的其他介质时，那末从这个混合物的浓度，就可计算出流量。紊流使它混合得更好。

接种采用化学品、气体或放射线同位素。浓度测量可通过譬如热导率、电导率、放射线吸收的测量或计数管的计数率达到〔48〕至〔51〕。

4.2. 能量接种

4.2.1. 热能量接种

一个加热的流动介质的温升是质量流量和加入的热功率的函数，整个流量加热一次，但事实上只要靠壁的一层加热就够了〔2〕〔21〕和〔52〕至〔55〕。

一根电加热的金属线将在流体中冷却。这冷却是流速的一个函数。加热线温度能从它的电阻明确求得。也可用半导体电阻或薄的导体层

代替加热线〔56〕至〔62〕。

4.2.2. 核磁共振

原子由于它的核旋转脉冲可理解为陀螺。它具有一个磁的核力矩，其轴心与旋转脉冲相迭合。如有一个强烈的均匀磁场作用到原子（譬如氢）时，这些核子就带着拉莫尔频率开始旋进运动。如再加第二个垂直于恒定磁场的高频磁场到原子上去，并用拉莫尔频率控制这高频磁场的话，则就有可能激励这些核子到相关的旋进性（Kohärente Präzession）。这个核磁共振现象能通过垂直于这两磁场的交变磁场来证明。这旋进幅度是加入能量的一个函数。通过共振装置的流量愈大，分给核子能量的时间就愈少。横磁场的幅度因此就减小〔63〕。

5. 容积分界

5.1. 直接容积分界

容积仪表能在测量过程中用测量室活动壁不断把部分容积分界而计数。对流量测量这些带有活动壁、旋转壁如椭圆轮和旋转活塞式仪表是感兴趣的〔2〕至〔4〕和〔65〕。

5.2. 间接容积分界

5.2.1. 机械的分界

透平式流量计没有测量室能工作，不受负载的测量透平能旋进到流动介质里去，透平的角速度是与容积流量成正比的〔66〕至〔69〕。

5.2.2. 脉冲式的接种冲击

用脉冲式的能量或质量接种冲击能把在测量管内流动的介质分界。对两测量横截面间的接种云的渡越时间加以测量。容积流量是与测量横截面间的管道容积和渡越时间的商相等的。

由于在测量管里的流速分布，接种云会被拉开，因此不能单测通过测量横截面间的时间。

接种能用气体、化学品、放射线物质〔52〕〔70〕和〔71〕或用热能量〔72〕。通过调制的放射线照射或强的电场使流动的气体脉冲式地电离〔73〕和〔74〕。在测量横截面里，离子云会产生电流脉冲。核共振流量计〔64〕也能通过能量接种把部分容积分界。

5.2.3. 自然的温度差

在流动介质里出现的自然温差被用于容积流量测量。

为确定两测量点之间的渡越时间也可用相关法。在两测量点上信号的互相关函数的最大值位置，指示出渡越时间〔75〕至〔79〕。

6. 流体的内部摩擦

如观察一下带不变截面的直管里的非压缩性介质的流动，如果流体纵截面图是稳定的，那末沿着管道的动能量保持稳定不变。摩擦引起的能量耗损只依稳定压力而定。对层流，压降和容积流量是相互成正比的，在紊流范围中两值之间会有一个平方的关系〔80〕至〔83〕。

7. 流体噪声

紊流在管道里会产生流体噪声，原因归到平均流速和容积流量上〔84〕。在层流范围就没有流体噪声出现。

8. 材料或能量（决算）平衡表

如果一种成分的流量不能直接测量，大多能通过一个或几个在生产过程中参与成分的材料或能量平衡计算出来。由于反应经常是不够清楚，并且各别测量会把误差相加，所以计算的流量值不太正确〔2〕。

9. 其他的测量方法

9.1. 电离与再化合

一种气体会在放射线作用下电离和再化合，气体流得愈快，在距电离点的测量截面里的电导率就愈大〔74〕。

9.2. 卡曼（Karman）涡流道

在一个处于流体中的圆柱体后面产生着交替的涡流转变，称为卡曼涡流道。涡流中心相距同样的距离。这涡流能控制一个触发流体放大器，它的弛张频率是与流量成正比的〔85〕。

9.3. 蒸汽冷凝

文献〔86〕专利所述一只卡路里蒸汽量计，其中由于一部分蒸汽流量冷凝而得自由的热量，作为流过蒸汽量的一个尺度。

9.4. 核共振频率的偏移

在一根合适的弯管里流动着一种液体，然后就可观察到与流速成正比的核共振频率偏移〔63〕。

文献汇总〔87〕至〔94〕可供流量测量技术深入参考之用。

参 考 文 献 汇 总

- 〔1〕 Krönert, J.: Handbuch der technischen Betriebskontrolle Bd. II (Mengenmessungen im Betrieb). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.G. 1959.
- 〔2〕 Hengstenberg, J., B. Sturm und O. Winkler: Messen und Regeln in der chemischen Industrie. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer Verlag 1964.
- 〔3〕 Meyer, J.: Volumen- und Durchflußmessung von Flüssigkeiten und Gasen. Berlin: VEB Verlag Technik 1965.
- 〔4〕 Kalkhof, H.G.: Mengenmessungen von Flüssigkeiten. München: Carl Hanser Verlag 1964.
- 〔5〕 Herning, F.: Grundlagen und Praxis der Durchflußmessung. 3. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1967.
- 〔6〕 Katys, G.P.: Massendurchflußmesser. Moskau/Leningrad: Izd. Energija 1965.
- 〔7〕 Cortelyou, J.T.: Centrifugal Flow Measurement. Instr. Contr. Syst. 33(1960) H. 2, 276~280.
- 〔8〕 Hamilton, W.D.: Durchflußmeßzellen aus Rohrknienstücken. ISA Journal 10(1963) H. 7, 61~62.

- [9] DDR-Patent Nr. 953015 KI. 42e, 23/01.
- [10] Haffner, J., C.A. Stone und W.K. Genthe:
Durchflußmesser. Contr. Eng. 9(1962)
H.10, 69~70.
- [11] Lutz: Die Berechnung des
Schwebekörperdurchflußmessers.
Regelungstechnik 7 (1959) H.10, 355~360.
- [12] Engelhardt, H.: Schwebekörpermengenmessung.
Arbeitsweise, Konstruktion, Ausführungsformen
und Leistungen. Gaswärme 11(1954) 347~354.
- [13] Iltsche, H.: Schwebekörperdurchflußmesser
mit seitlich geschlitztem zylindrischen
Meßrohr und induktiver Meßwertübertragung.
Zmsr 3(1960) H.11, 471-473.
- [14] Rutherford, R.: Durchflußmesser mit
veränderlicher Öffnung. Chem. Process.
Engng. 40(1959) H.3, 94~95 und 101.
- [15] Perforierter Rohrdurchflußmesser. Chem.
Engng. Sci. 13(1960) H.1, 34~38.
- [16] Dijsstelberger, H.H.: Das dynamische
Verhalten von Rotamessern. Instr.
Practice 17(1963) H.10, 1087~1088.
- [17] Gerald, C.F.: Fluid Bed Flowmeter. Ind.
Eng. Chem. 44(1952) 233.
- [18] DBR-Patent Nr. 868219 KI. 42e, 23/01.
- [19] Decker, M.M.: The Gyroscopic Mass
Flowmeter. Engrs. Digest 21(1960) H.7,
92~93.
- [20] Decker, M.M.: The Gyroscopic Mass
Flowmeter. Control Engng. 7(1960) H.5,

139~140.

- [21] Wintergerst, E.:Methoden der unmittelbaren Durchflußmessung. VDI-Z. 103(1961) H.24, 1201~1208.
- [22] Sams, C.E.R.:Using an Aerofoil as a Means of Flow Measurement. Brit. Chem. Engng. 2(1957) H.5, 259~262.
- [23] Gross, H.J.:Elektrostatische Aufladung strömender Flüssigkeiten. Abhängigkeit von Rohrlänge und Strömungsgeschwindigkeit. TH Braunschweig:Diss. vom 4. Juni 1958.
- [24] DAS-Patent Nr. 1 195 960 KI.42e, 23/05.
- [25] Franke, G.:Physikalische Prinzipien der Masse- und Volumendurchflußmessung. TU Dresden:Diplomarbeit am Institut für Fernwirktechnik.
- [26] Kolin, A.:Principle of electromagnetic Flowmeter without external Magnet. J. Appl. Physics 27(1956) H.8, 965~966.
- [27] Shercliff, J.A:Electromagnetic Flowmeter without external Magnet. J. Appl. Physics 28(1957) H.1, 140.
- [28] Thürlemann, B.:Methode zur elektrischen Geschwindigkeitsmessung von Flüssigkeiten. Helv. Phys. Acta 32(1941), 383~419.
- [29] Engl, W.:Relativistische Theorie des induktiven Durchflußmessers. TH Karlsruhe: Habilitationsschrift vom 18. Mai 1961.
- [30] Schommartz, G.:Meßtechnische Probleme der induktiven Strömungsgeschwindigkeit

keitsmessung. Universität Rostock:
Dissertation 1967.

- [31] Rummel, Th., und B. Ketelsen: Inhomogenes Magnetfeld ermöglicht induktive Durchflußmessung bei allen in der Praxis vorkommenden Strömungsprofilen. Regelungstechnik 14(1966) H.6, 262~267.
- [32] Engelhardt, H.: Konstruktion und Ausführung von Gebern für magnetisch-induktive Durchflußmeßgeräte. VDI-Berichte 86(1964), 45.
- [33] Diebel, H.: Verstärkertechnik bei magnetisch-induktiven Durchflußmessungen. VDI-Berichte 86(1964), 37.
- [34] Rolff, J.J.P.: Magnetische Durchflußmesser. ATM. V 1249-2 (Okt.1960).
- [35] Cowley, M.D.: Flowmetring by a motion-induced Magnetic Field. J. sci. Inst. 42(1965), 406~409.
- [36] Brit. Patent: GB P 1023026.
- [37] Lutsch, P.: Messung des Flusses in Rohrleitungen mit Hilfe des Mößbauer-Effekts. Wasser-Luft-Betrieb 11(1967) H.4, 202/203.
- [38] Sowjetisches Patent Nr. 175751.
- [39] Sowjetisches Patent Nr. 175752.
- [40] Zobel, Th.: Verwendung von Lichtinterferenz in der technischen Messung. VDI-Z. 81(1937), 619.
- [41] Richter, W.: Über einige bei der

interferenzoptischen Strömungsmesstechnik auftretende experimentelle Probleme und deren praktische Lösungen in Beitrag Zur Anwendung und Grenze des Verfahrens. TH Dresden: Dissertation 1959.

- [42] Zobel, Th.: Strömungsmessung durch Lichtinterferenz, Luftfahrtforschungsanstalt Braunschweig, Forschungsbericht Nr. 1167.
- [43] Klass, P.J.: Laseranwendung zur Strömungsmessung in Gasen und Flüssigkeiten, Aviation Week 82(1965) H.2, 75~77.
- [44] Schweiger, M.: Durchflußmessungen mittels Ultraschall, Feingeräte technik 12(1963) H.5, 260~264.
- [45] Knapp, C.: Geschwindigkeits- und Mengenmessung strömender Flüssigkeiten mit Ultraschall, VDI-Berichte 86(1964), 65.
- [46] Kivilis, S., u. a.: Einfluß des Profils eines gleichförmigen Stromes auf den Fehler von Ultraschalldurchflußmessern, Izmer. Techn. Moskau (1965) H.3, 52~54.
- [47] Levine, I.: Ultraschall-Durchflußmesser, Oil-Gas Equipment 8(1962). H. 8, 2~4.
- [48] Hermant, C.: Application of Flow Measurement by the Comperative Salt-Dilution Method to the Determination of Turbine Efficiency, Paper E.2, Symposium

NEL, East kilbride 1960.

- [49] Fritz, W.: Die Leitfähigkeitswasserstrommessung. VDI-Z. 88(1944), 109.
- [50] Watkin, T.D.: Gas-Durchfluß-Impfmessung mit Signal über infrarote Strahlung. Instr. Contr Syst. 39(1966) H.6, 161~163.
- [51] Siebert, W., und K.Hengst: Gasdurchflußmessung nach dem Impfverfahren unter Benutzung des Ultrarot-Strahlungsabsorptionsschreibers URAS. Regelungstechnik 2(1954), 154~157.
- [52] Calame, H.: Impfverfahren mit Chemikalien und radioaktiven Substanzen, thermische und kalorische Meßmethoden. VDI-Berichte 86(1964), 59.
- [53] Laub, J.H.: Measuring Mass Flow with the Boundary Layer Flowmeter. Control Engng. 4(1957) H.3, 112~114.
- [54] Laub, J.H.: Mengenumessung mit thermischen Meßgeräten. Control Engng. 13(1966) H.4, 69~72.
- [55] Igumow, N.I.: Thermischer Umformer der Strömungsgeschwindigkeit. Izmer. Techn. Moskau(1966) H.6, 76~78.
- [56] Wehrmann, O.: Methoden und Anwendungen der Hitzdrahtmeßtechnik für Strömungsvorgänge. Konstruktion 10(1958), 299.
- [57] Höhnmann, W.: Hitzdrahtmeßtechnik bei Strömungsmaschinen. Brenn-stoff-Wärme-

- Kraft 14(1962) H.9, 429~433.
- [58] Neuerburg, W.:Richtungsempfindliche Hitzdrahtsonde. MTZ 23(1962), 38.
- [59] Wehrmann, O.:Weiterentwicklung und neuartige Anwendung der Hitzdrahtmeßtechnik. Konstruktion 13(1961), 183.
- [60] Wöhr, F.:Verfahren zur Messung Kleiner Wassergeschwindigkeiten. Elektrizitätswirtschaft 56(1957) H.2, 58~61.
- [61] Birr, H.:Strömungsmessungen mit Halbleiterwiderständen. Zmsr 4(1961) H.6, 237~238.
- [62] Ling, S.C.:Heat-transfer Characteristics of hot-film Sensing Element used in Flow Measurement. Trans. ASME Ser. D 82(1960), 629.
- [63] Shernowoi, A.I.:Durchflußmessung von Flüssigkeiten mittels der Kernresonanz. Priborostroenie, Moskau (1961) H.7, 6.
- [64] Ekaterinen, V.V.:Impuls-Frequenz-Durchflußmesser nach dem Prinzip der magnetischen Kernresonanz. Izmeritel'naja Techn. (1965) H.3, 54~56.
- [65] Ebert, M.:Ovalradzähler mit Sonderverzahnten Ovalrädern. VDI-Z. 103(1961), 1809.
- [66] Engelharat, H.:Strömungstechnische Grundlagen der Turbinenzähler. VDI-Berichte 86(1964), 77.