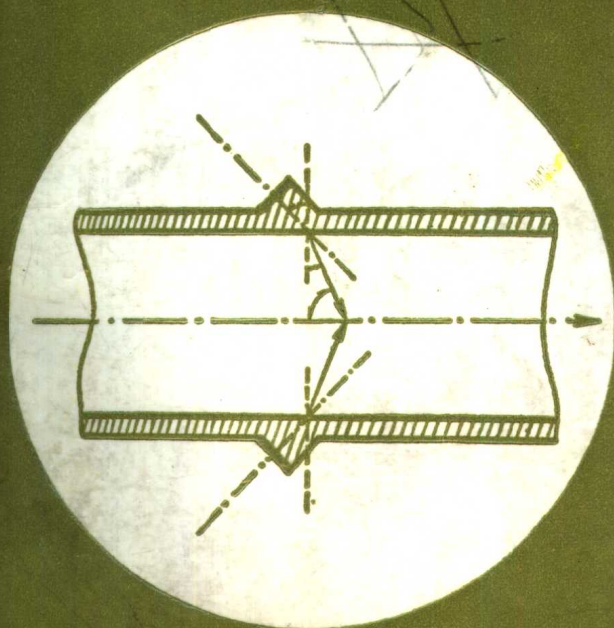


● 高等学校试用教材

流量计量与测试

苏彦勋 盛健 梁国伟 编著
杨惠连 主审



中国计量出版社

高等学校试用教材

流量计量与测试

苏彦勋 盛 健 梁国伟 编著

杨惠连 主审

中国计量出版社

新登(京)字 024 号

内 容 提 要

本书根据高校教材编写要求编写,共分十章。主要介绍流量计量与测试技术基础知识;各种流量测量仪表的原理、结构、安装、调试、使用及维护方法;流量计量基、标准装置的分类、原理、结构、设计计算、误差及其补偿方法;各种流量计的检定方法。最后,介绍微机在流量计量中的应用。

本书全面系统,内容新颖,紧密结合流量科研和生产实际,除作高等学校流量相关专业教材外,尚可供科研和工程技术人员参考。

高等学校试用教材

流量计量与测试

苏彦勋 盛 健 梁国伟 编著

杨惠连 主审

责任编辑 何伟仁

—*

中国计量出版社出版

北京和平里西街 1 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092/16

印张 26 字数 630 千字

1992 年 8 月第 1 版

1993 年 1 月第 1 次印刷

印数 3 001—6 000

ISBN 7-5026-0538-X/TB·410

定价 18.50 元

编 者 的 话

本书是根据国家教委对高等院校教材编写要求,并结合中国计量学院实际情况制订的流量计量与测试技术教学大纲编写的。

随着我国工农业的发展,对流体流量和总量的计量及测试提出了越来越多、越来越高的要求,特别在注重节省能源,提高经济效益和产品质量的今天,流量计量与测试的重要性就更加突出了,并日益为越来越多的人所认识。因为各种流体介质,如水、蒸气、煤气、天然气、石油产品和两相、三相流等,都是重要的能源,只有做到准确测量,才能做到“节能有数,耗能有据”,使生产过程建立在可靠的科学基础上,使经济管理工作切实有效地进行。

本书参考了国内外流量计和标准装置的多种新型样机、国际标准、论文、考察报告等大量资料,结合作者几十年教学、科研的实践经验,对计量、科研、工矿企业、使用单位、在线测量所碰到的实际问题,进行综合分析,归纳总结。其内容包括流体计量与测试技术基本知识;流量测量技术所用的各种方法与仪表;流量量值的传递方法;各种流量计的结构、原理、安装、维护和故障排除方法;流量计量的基、标准(包括水流量、气流量、油流量和两相流标准)装置的分类、结构原理、流量计算和各种类型装置误差测试及补偿方法;流量基、标准工艺设计与计算;检定流量计标准的选择原则;标准计量器具检定和误差处理的方法及实例;微处理机在流量计量中的应用;误差理论在流量计量与测试中应用和数据处理的规则等。因此,本书具有系统性、全面性,实用价值较高。

不仅可作高等院校的教材,而且也是科研、计量与工矿企业工程技术人员有价值的参考书。

本书由中国计量科学研究院苏彦勋高级工程师和中国计量学院盛健、梁国伟讲师编写。其中,第一章至第三章由盛健编写,第四、五、六章及第十章由梁国伟编写,第七章至第九章以及必要的附录表格由苏彦勋编写。最后由苏彦勋担任统稿。

本书由天津大学自动化系杨惠连副教授主审。编写过程中,开封仪表厂王自和高级工程师、中国计量学院钱又嘉副教授、上海工业自动化仪表研究所吴安意高级工程师、浙江大学能源系王志勤副教授、天津大学自动化系杨惠连副教授、浙江省计量测试技术研究所张泰丰高级工程师等提出了不少宝贵的指导性意见并参加了审稿会,责任编辑何伟仁高级工程师在书稿组织、编辑加工过程中,认真负责,付出辛勤劳动,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平和时间所限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1991年8月

目 录

第一章 流量计量与测试技术基础	(1)
第一节 流量与流量计	(1)
第二节 流量测量方法概述	(2)
第三节 流量计量中常用物性参数	(4)
一、密度	(4)
二、粘度与运动粘度	(5)
三、热膨胀率	(7)
四、压缩系数与体积弹性系数	(7)
五、比热容	(8)
六、气体绝热指数	(9)
第四节 管内流动基本知识简述	(9)
一、层流与紊流	(9)
二、管内流速分布与平均流速	(10)
三、两个流动基本方程	(13)
第五节 流量计量常用术语	(15)
第二章 容积式流量测量仪表	(16)
第一节 容积式流量测量仪表原理与结构	(16)
一、容积式流量仪表的工作原理	(16)
二、容积式流量计的结构	(17)
第二节 容积式流量计的特性及影响因素	(19)
一、容积式流量计的误差特性	(19)
二、流量计进出口差压对误差特性的影响	(21)
三、流体物性对误差特性的影响	(23)
第三节 容积式流量计的使用	(24)
一、容积式流量计的选择	(24)
二、容积式流量计的安装要点	(25)
三、容积式流量计使用情况判断	(25)
第三章 速度式流量测量技术与仪表	(27)
第一节 涡轮流量计	(27)
一、涡轮流量计的工作原理与结构	(27)
二、涡轮流量计理论模型的建立	(29)
三、涡轮流量计的特性分析	(31)
四、涡轮流量计的特点与安装使用	(33)

第二节 流体振动式流量计	(35)
一、涡街流量计的原理	(35)
二、涡街流量计的基本结构	(38)
三、旋涡发生频率的检测	(39)
四、涡街流量计的特性	(41)
五、其它流体振动式流量计	(42)
第三节 电磁流量计	(43)
一、概述	(43)
二、电磁流量计的基本原理	(44)
三、电磁流量计的干扰问题	(46)
四、电磁流量计的结构与抗干扰措施	(49)
五、流场、磁场及介质电导率对测量的影响	(54)
六、电磁流量计的选用与安装	(57)
第四节 超声波流量测量方法与仪表	(58)
一、传播速度差法的原理	(58)
二、超声波多普勒流量计测量原理	(63)
第五节 热线测速计	(66)
一、热线测速计敏感元件的基本构造	(67)
二、热线测速计的基本原理	(67)
三、热线测速计的工作特性	(70)
四、热线测速计用于管道流量的测量	(72)
第四章 节流式流量计	(75)
第一节 理论基础和流量方程	(76)
一、不可压缩流体的流量方程	(77)
二、可压缩流体的流量方程	(78)
第二节 标准节流装置	(80)
一、标准节流件	(80)
二、取压方式和取压装置	(85)
三、标准节流装置的管道条件	(88)
第三节 标准节流装置系数的确定	(90)
一、角接取压标准孔板的 α 和 ϵ 的确定	(91)
二、法兰取压标准孔板的 α 和 ϵ 的确定	(94)
三、角接取压标准喷嘴的 α 和 ϵ 的确定	(97)
四、其它几种国际标准节流装置的 α 和 ϵ 的确定	(100)
第四节 标准节流装置的误差估计	(103)
一、流量系数 α 的相对标准误差 σ_α/α	(104)
二、流束膨胀系数 ϵ 的相对标准误差 σ_ϵ/ϵ	(105)
三、直径 D 和 d 的相对标准误差	(106)
四、差压 Δp 的相对标准误差 $\sigma_{\Delta p}/\Delta p$	(107)

五、流体密度的相对标准误差 σ_{ρ_1}/ρ_1	(108)
六、节流装置的附加误差	(109)
第五节 节流装置的计算方法及实例	(110)
一、计算命题和计算公式	(110)
二、第一类命题的计算步骤	(110)
三、第二类命题的计算步骤	(111)
四、计算实例	(116)
第六节 节流装置的安装和使用	(126)
一、差压信号管路的安装	(127)
二、节流装置的使用	(129)
第七节 非标准节流装置	(129)
一、用于低雷诺数的非标准节流件	(130)
二、用于脏污介质和两相流的非标准节流件	(132)
第八节 节流装置不符合规程规定时的处理和附加误差	(133)
一、节流装置不符合标准要求时的修正	(134)
二、流动情况不符合标准要求时的修正	(137)
第五章 其它差压式流量计	(140)
第一节 毕托管和均速管	(140)
一、毕托管	(140)
二、均速管流量计	(150)
第二节 转子流量计	(152)
一、工作原理及流量方程	(153)
二、转子流量计的刻度换算及量程转换	(155)
三、转子流量计特性及粘度修正	(157)
四、金属管转子流量计	(159)
五、转子流量计的安装和使用	(160)
第三节 靶式流量计	(160)
一、靶式流量计的工作原理	(161)
二、靶式流量计的流量系数及压力损失	(162)
第六章 质量流量测量方法与仪表	(166)
第一节 直接式质量流量计	(166)
一、热式质量流量计	(166)
二、差压式质量流量计	(167)
三、叶轮式质量流量计	(169)
四、哥氏力质量流量计	(170)
第二节 间接式质量流量测量方法	(172)
一、检测 ρq_V^2 的流量计与密度计的组合	(172)
二、检测 q_V 的流量计与密度计的组合	(173)
三、检测 ρq_V^2 和检测 q_V 的流量计的组合	(173)

第三节 温度、压力补偿式质量流量计	(174)
一、工作原理与补偿方式	(174)
二、液体密度的温度补偿	(175)
三、气体密度的温度、压力补偿	(178)
四、过热蒸汽的温度、压力补偿	(180)
第七章 流量标准装置	(181)
第一节 概述	(181)
一、流量标准装置在流体计量与测试中的意义	(181)
二、流量测量的基本原理	(182)
三、流量计量器具传递系统	(182)
四、流量标准装置的分类	(183)
五、流量标准装置的用途	(184)
第二节 静态质量法液体流量标准装置	(185)
一、静态质量法液体流量标准装置结构	(185)
二、浮力修正问题	(186)
三、密度测量问题	(187)
四、称量用的标准秤臂比系数 K 的测量	(190)
五、静态质量法对测量时间的修正	(192)
第三节 动态质量法液体流量标准装置	(194)
第四节 静态容积法液体流量标准装置	(196)
一、静态容积法的结构和原理	(196)
二、流量计算方法	(197)
三、装置的技术要求	(197)
四、装置误差源	(200)
第五节 动态容积法液体流量标准装置	(207)
一、动态容积法装置的结构	(207)
二、装置工作原理	(207)
三、动态容积法对时间的修正	(209)
第六节 标准体积管法动态流量装置	(211)
一、标准体积管的分类及基本结构	(211)
二、标准体积管标准段的容积值	(215)
第七节 水表试验装置	(216)
一、装置结构	(216)
二、装置原理	(217)
三、水表试验装置的技术要求	(217)
四、装置检定方法	(218)
第八节 标准流量计法流量标准装置	(220)
一、用一台标准流量计检定容积式流量计	(221)
二、用并联标准流量计检定流量计	(222)

第九节 气体流量标准装置分类和传递系统	(223)
一、概述	(223)
二、气体流量标准装置分类	(224)
三、气体流量计量器具传递系统	(224)
第十节 钟罩式气体流量标准装置	(225)
一、装置的结构与原理	(225)
二、流量计算公式	(227)
三、钟罩内表压力的产生	(227)
四、钟罩补偿机构	(228)
第十一节 $pVTt$ 法气体流量标准装置	(233)
一、装置的结构和工作原理	(233)
二、高压气体流量标准装置	(236)
三、用音速喷嘴(管)测量流量的计算方法	(237)
第十二节 蒸气流量标准装置	(238)
一、概述	(238)
二、饱和蒸气流量标准装置结构原理	(238)
三、装置的主要试验内容和技术关键	(240)
四、均相模型和分相模型	(241)
五、装置的特点	(243)
第十三节 两相流体流量计标准装置	(244)
一、概述	(244)
二、气液两相流体流量计标准装置	(244)
三、气固两相流体流量计标准装置	(246)
四、液固两相流体流量标准装置	(247)
五、油气水三组份混合流体标准装置	(249)
第八章 流量标准装置的设计与计算	(250)
第一节 概述	(250)
一、沿程阻力系数	(250)
二、局部阻力系数	(252)
三、装置试验管道的水力计算	(258)
第二节 水流量标准装置工艺设计和计算	(262)
一、装置的组成和技术指标	(262)
二、各试验管路流通能力和压头的计算	(263)
三、工作量器的设计与计算	(269)
四、换向器设计计算方法	(279)
五、水塔的工艺设计及计算	(284)
六、稳压容器的结构和设计计算	(291)
七、水池容积的确定和工艺要求	(293)
八、水泵房土建设计和工艺要求	(295)

九、控制系统的工艺设计	(297)
第九章 流量标准计量器具的标定及其准确度计算方法	(301)
第一节 静态容积法流量标准装置的标定及准确度计算方法	(301)
一、装置的技术要求	(301)
二、装置的标定	(303)
三、流量标准装置的准确度	(317)
第二节 标准体积管的标定和准确度评定	(317)
一、概述	(317)
二、标准体积管的工作原理和工作过程	(317)
三、标准体积管的性能测试	(318)
四、标定系统及安装要求	(319)
五、标准体积管的示值标定	(320)
六、气体体积管标定及准确度	(324)
第三节 钟罩式气体流量标准装置标定和准确度计算方法	(329)
一、装置的技术要求	(329)
二、检定项目和检定方法	(330)
三、装置的准确度	(335)
第四节 流量计测量方法和分类	(336)
一、流体数量的测量方法	(336)
二、流量计的分类	(338)
第五节 涡轮流量传感器检定和误差	(338)
一、技术要求	(338)
二、检定条件	(339)
三、检定项目和检定方法	(340)
第六节 玻璃转子流量计的标定和误差	(345)
一、技术要求	(345)
二、转子流量计的检定	(346)
第七节 容积式流量计的检定和误差	(350)
一、容积式流量计概述	(350)
二、不带电脉冲输出信号机构的指示式(或计数式)容积流量计的检定	(351)
三、带电脉冲输出信号的容积式流量计的检定	(352)
第八节 音速喷嘴(喷管)的标定	(355)
一、音速喷嘴和音速喷管	(355)
二、音速喷嘴(喷管)的原理	(355)
三、喷嘴检定操作过程	(357)
四、流量计算	(357)
五、流出系数	(358)
六、标定结果	(358)
第九节 水表的检定方法	(359)

一、技术要求	(359)
二、检定项目和检定方法	(360)
第十章 微处理机在流量计量中的应用	(363)
第一节 微机用于标准节流装置的设计	(363)
一、计算机辅助计算的特点	(363)
二、第一类命题的计算机程序	(363)
三、第二类命题的计算机程序	(364)
第二节 微机用于节流装置的全参数补偿	(370)
一、微机补偿的硬体结构	(370)
二、微机补偿的主要内容	(372)
三、补偿设计实例	(375)
第三节 微机用于涡轮流量计的积算控制	(381)
一、涡轮流量计的积算原理	(381)
二、硬件系统设计	(383)
三、面板及控制功能设计	(383)
四、软件设计	(385)
第四节 微机在流量检定系统中的应用	(389)
一、检定结果的微机处理	(390)
二、检定系统中的微机检测和处理	(391)
三、流量检定过程的自动控制	(392)
附录	(394)
参考文献	(400)

第一章 流量计量与测试技术基础

第一节 流量与流量计

流体流过一定截面的体积或者质量与时间之比称为通过该截面的流量。其中，体积与时间之比，称为体积流量；质量与时间之比，称为质量流量。

如果流体的流动是不随时间变化的，是定常流，流量就可以用流体在单位时间内通过一定截面的体积或质量来表示。当流动为非定常流时，流量随时间不断地变化。因此，对某一时刻的流量，可以假定在该时刻前后某一微小的 Δt 时间内流动为恒定，用该微小时间间隔内流过的流体体积或质量来表示。

设流体通过截面中的某一微小面积为 dF ，并取通过该微小面积流体的流速为 u ，则流体通过微小面积 dF 的体积流量 dq_v 为

$$dq_v = u dF \quad (1-1)$$

流体通过整个截面积的体积流量 q_v ，可用对截面积 F 积分求出：

$$q_v = \int_F u dF \quad (1-2)$$

如果整个截面上各点的流速相同，则由式(1-2)可得：

$$q_v = uF \quad (1-3)$$

质量流量可以用流体体积流量与流体密度之积来表示。若质量流量为 q_m ，流体密度为 ρ ，则

$$q_m = \rho q_v = \rho u F \quad (1-4)$$

测量这些流量的仪器称为流量计。专门测量体积流量的称为容积式流量计，测量流体质量流量的称为质量流量计。

以上所述为瞬时流量的定义。在工程应用中，常常同时要求测量经过一段时间流过管道的总流体量，即要求测量通过管道的流体累积流量。下面讨论累积流量与瞬时流量之间关系。

如果体积流量为 q_v ，质量流量为 q_m ，那么，在时间间隔 Δt 内流体流过的累积流量，可用下式表示：

$$\text{流体质量累积流量: } Q_m = \int_1 q_m dt \quad (1-5)$$

$$\text{流体体积累积流量: } Q_v = \int_1 q_v dt \quad (1-6)$$

所以，如果流动为稳定流，流体密度 ρ 一定，由式(1-5)、(1-6)可得：

$$Q_m = q_m t; \quad Q_v = q_v t \quad (1-7)$$

应用式 (1-4) 对上述关系式整理, 可得:

$$Q_m = q_m t = \rho q_v t = \rho Q_v \quad (1-8)$$

从上述累积流量关系式中可以看出, 累积流量的测量, 就是流体体积的测量, 或是流体质量的测量。

本书中所有的单位均选用 SI 制单位。体积流量的单位是 m^3/s ; 质量流量的单位是 kg/s 。累积体积流量单位是 m^3 ; 累积质量流量单位为 kg 。

第二节 流量测量方法概述

现代工业中的流量测量, 采用了各种各样的方法, 应用于各种不同的场合和各种不同的测量目的。这些测量方法基于多种不同的测量原理, 利用各种不同的输出信号变化来反映流体流量的变化。在这一小节中, 对各种流量测量方法做一概述性的介绍, 以使大家对当前一般采用的流量测量方法与仪器有一比较完整的了解。

通常, 依其测量原理, 将流量测量方法分成四大类, 利用伯努利方程原理来测量流量的流量计是以输出流体差压信号来反映流量; 利用测量流速来得到流量的称为速度式流量测量方法; 利用一个一个标准小容积连续地测量流量的测量方法称为容积式流量测量方法; 以测量流体质量流量为目的的流量测量方法与仪表称为质量流量测量方法和质量流量计。下面将对上述四大类流量计分别做一介绍。

在流体力学理论中, 伯努利方程有很重要的地位, 它说明了流体流线上各点之间的能量关系。若在流体流过的管路中安装一个使流通截面缩小的节流件, 则流体流过该节流件会在节流件前后产生静压力差 Δp 。设节流件处的流体流通截面为 A , 流体密度为 ρ , 根据伯努利方程和流体的连续性方程, 可以导出流体的体积流量 q_v 、质量流量 q_m 分别为

$$q_v = CA\sqrt{\Delta p/\rho} \quad (1-9)$$

$$q_m = CA\sqrt{\rho\Delta p} \quad (1-10)$$

式中, C 为系数。

由上两式可知: 若节流件前后的流通面积 A 和流体密度 ρ 一定, 则流体流量与节流件前后差压的平方根成正比, 这就是节流流量计的测量原理; 若保持节流件前后压力差恒定, 则流量与节流件处的流通截面 A 成正比, 这就是面积式流量计 (转子流量计) 的测量原理。

另一类依据伯努利方程为原理的流量测量方法是, 测量其动压头得到流体的流速, 进而得到流量值。它分别测量流体的全压头和静压头, 两者之差即为流体动压头。这一类测量方法的仪表有毕托管和均速管流量计。

利用测量流体动压和流体节流前后差压联合作用力而测量流量的流量计是靶式流量计。它是通过测量流体对一个放在流体中的靶上的作用力来测量流体的流速和流量的。

② 容积式流量计广泛应用于各种液体和气体的流量测量, 尤其是在较高粘度的液体测量中, 更是具有很高的测量精度。其工作原理是将流过管路的流量, 以一具有标准容积的“计量空间”连续不断地进行测量, 根据该标准容积的容积值和连续测量的累计次数, 可以得到通过该流量计的累积流量。从原理上讲, 这种流量计在测量体积流量时不受流体密度和粘度的影响。可以用于各种粘度的流体, 并可以在各种雷诺数条件下应用, 而且对流动状态、速

度分布也无特殊要求。这种类型的流量计有较高的测量精度。但是，当流体中含有微小颗粒杂质时，就可能妨碍它的正常工作，在测量高粘度流体时，会有较大的压力损失。

③以测量流体流速来得到流体流量的流量计，统称为速度式流量计。它的种类很多，近年来发展也很快，较典型和常用的有涡轮流量计、涡街流量计、电磁流量计、超声波流量计和热式流量计等。

最常见的有涡轮流量计，它利用流体流动推动叶轮转动，流体流速与叶轮转速成正比，通过测量叶轮转速可得到流体流速进而得到流量值。在工业上，可采用涡轮流量计测量粘度较低的各种液体及气体的流量。这种流量计具有测量准确度高，量程范围宽，线性好，脉冲输出等优点。

涡街流量计是采用在流体中安装迎流面为钝体的柱体，利用检测在柱体下游有规则地产生的旋涡的频率得到流体的流速进而得到流量。它具有量程范围宽，准确度高，适用流体范围广，压力损失小等优点。近年来，涡街流量计发展较快，各种各样的涡频检测技术也纷纷出现。为了能产生更为稳定的、规则的涡街，柱体形状、上游流动情况对旋涡产生与脱落的影响等，尚需做进一步的研究。

电磁流量计是基于法拉第电磁感应定律的原理工作的。它要求被测流体的电导率不能过低，目前只能测量水和一些酸、碱、盐溶液，液态金属等，对气体和绝大部分油类介质不适用。该流量计的一个显著特点是响应非常迅速，几乎无滞后，对测量流体瞬时流量的变化非常适用。另一个显著特点是该流量计无阻碍流体流动的部件，对流动几乎无阻力。对于管内稳定的流动，严格轴对称速度分布流体进行测量，流量计检测到的感生电势可以很好地反映管内流体的平均流速。但这种流量计对于外界的电磁干扰很敏感，需采取一定的抗干扰措施，如注意良好接地，屏蔽外界电磁场等。

近年来超声波技术用于流量测量发展很快。超声波在流动的流体中传播时，就载上流体流速的信息，可用不同方法接收超声波，换算出流体流速及流量。目前应用较多的检测方法主要有传播速度差法，多普勒法等。超声波流量计具有无阻碍流体流动的特点，而且特别适宜于大流量的测量。传播速度差方法测量准确度高，但它不适用于含固体颗粒的污水等测量，流动速度较低时，也会产生灵敏度下降；多普勒方法在含悬浮粒子，气泡等双相流动的测量中得到很好的应用，是一种极有前途的双相流测量方法。

将一导热体置于流场中，并保持一定温度，那么，其加热电流就与流速成一定比例关系；若维持加热电流不变，则导热体的温度就与流体流速成比例，以上就是热式流量计的两种主要工作方法。热式流量计有多种形式：热线测速仪，托马斯流量计，边界层流量计等。前一种是速度式流量计，具有反应灵敏，探头体积小等优点，尤其适用于流场中瞬时流速的多点测量，在流体力学科研中应用很多。后两种是热质量式流量计，信号可直接反映流体的质量流量。

④以直接或单一测量读出流体质量流量为目的流量计称为质量流量计，它可以分成三大类：一是直接测量流体质量流量的直接式质量流量计，有热式、双孔板、双涡轮、科氏力等；二是分别测量流体流速和密度，由运算器得到质量流量值，称为间接式质量流量计；三是利用流体密度与温度、压力之间的关系，用补偿方式消除流体密度变化的影响，进而得到质量流量值，称为补偿式质量流量计。

第三节 流量计量中常用物性参数

流量测量时，尤其是在进行流动状态的判断和体积流量与质量流量换算时，必需准确地知道被测流体的各种物性参数，否则就会给判断和计算带来很大困难，并难以得到准确的测量值。这些常用的物性参数有：密度、粘度、压缩系数、热膨胀系数、比热和绝热指数等。

一、密 度

流体具有质量，单位体积内流体的质量称为密度，以 ρ 表示。在流体内任意点取某一微小体积 ΔV ，该体积内包含的流体质量为 Δm ，则其平均密度为 $\rho = \Delta m / \Delta V$ 。其任意点的密度，可通过取极限得到：

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \quad (1-11)$$

密度的倒数称为比容，用符号 v 表示，是单位流体的质量所占的体积。

当被测流体是液体，假如它的组分明确，并且是常用介质的话，其密度可从有关手册中查取。如果要用测量的方法求密度，应求出不同温度下的各密度值，若温度变化在 $\pm 20^\circ\text{C}$ 范围内，密度与温度之间基本上呈线性关系，因此可通过测量两个不同温度下的密度值，作出密度与温度的线性关系，然后求得该范围内任意温度点上的介质密度值。

对于气体，若不计气体分子之间的相互作用力和分子本身尺寸，即认为是理想气体，则它的密度 ρ 、温度 T 、压力 p 之间用状态方程表示其关系：

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (1-12)$$

式中， R 为气体常数，单位为 $\text{J/kg} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}$ 。

由于被测气体大部分为混合气体，所以这些气体的密度需通过分析气体成分比例后求得。各种气体成分的密度一般可通过手册查取。若已知其各种成分的容积比，则混合气体的密度 ρ_n 可由下式计算：

$$\rho_n = \sum_{i=1}^n \rho_{n_i} X_i \quad (1-13)$$

式中 ρ_{n_i} ——第 i 种气体成分在标准状态下的密度；

X_i ——是第 i 种气体成份的容积比。

如果得到了标准状态下的密度 ρ_n ，则在其它状态，即绝对温度 T 、绝对压力 p 状态下的介质密度 ρ 可由下式得到：

$$\rho = \rho_n \frac{p}{p_n} \frac{T_n}{T} \frac{K_n}{K} \quad (1-14)$$

式中 T_n 、 p_n ——标准状态下的绝对温度 (273.15 K) 对绝对压力 (101325.024 Pa)；

K_n 、 K ——标准状态下和一般状态下的压缩系数，在压力较低、理想气体假定成立的

范围内，压缩系数为 1。

表 1-1 给出了几种常用气体在标准状态下的压缩系数 K_n 值。

表 1-1 标准状态下各种气体压缩系数					
气 体	K_n	气 体	K_n	气 体	K_n
空气	1.000	SO ₂	0.977	H ₂ S	0.990
O ₂	0.999	CO	1.000	NH ₃	0.986
H ₂	1.000	NO	0.999	CH ₄	0.998
CO ₂	0.993	Cl ₂	0.984	He	1.000
N ₂	1.000	HCl	0.993	C ₂ H ₄	0.990

二、粘度与运动粘度

流体具有粘性，所以当流体在管道内流动时，紧贴管壁的流体将被粘附于管壁上，而管中心的流体则以一定速度流动。所以，由于粘性力作用，管内各流体层将形成一定规律的速度分布。

根据牛顿的总结：在流体运动中，阻滞剪切变形的粘性力 F 与流体的速度梯度和接触面积成正比，并与流体的性质有关，其数学表达式为

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-15)$$

式中 $\frac{du}{dy}$ ——流体垂直于速度方向的速度变化率，

A ——接触面积，

μ ——表征流体粘性的比例系数，称为动力粘度或简称粘度，单位是：(N·s/m²) 或 (Pa·s)。

流体的动力粘度 μ 与密度 ρ 的比值为运动粘度 ν ，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-16)$$

运动粘度 ν 的单位是 m²/s，简称斯。

温度对于流体粘度有较大影响，它对气体和液体的影响是不同的。对于气体，温度升高时气体分子运动加剧，由于气体的粘性切应力主要来自流层之间分子的动量交换，所以粘性增加；对于液体，由于温度升高时其内聚力减小，所以粘性减小。

从目前已经发表的资料来看，液体粘度 μ 与温度 T 之间的关系可写成如下形式，

$$\mu = A \exp\left(\frac{B}{T-C}\right) \quad (1-17)$$

式中, A, B, C 均为由流体性质确定的常数。在 $(20 \sim 80)^{\circ}\text{C}$ 温度范围内在粘度与温度的关系为

$$\mu_t = \mu_0 e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (1-18)$$

式中 μ_t —— $t^{\circ}\text{C}$ 时的介质动力粘度;

μ_0 —— $t_0^{\circ}\text{C}$ 时的介质动力粘度;

λ ——介质粘温系数。

关于液体粘度的测量方法, 在流体力学教材和有关的专门书籍中有介绍, 这里就不再重复了。

气体的粘度大体上是随绝对温度的平方根成正比增加的。只要不是在很高的压力下, 一般认为不随压力改变而变化。对于混合气体, 其粘度可在已知各成分气体的摩尔百分比及各自粘度的条件下, 由下式计算:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i x_i \sqrt{1_i}}{\sum_{i=1}^n x_i \sqrt{M_i}} \quad (1-19)$$

式中 μ_i —— i 成分的气体粘度;

x_i —— i 成分气体的摩尔百分比;

M_i —— i 成分气体的分子质量。表 1-2 列出蒸馏水和某些气体的粘度。

表 1-2.1 常压下蒸馏水的粘度 ($p = 101\,325\text{ Pa}$)

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	粘 度 ($\mu \times 10^3$) ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$)	运动粘度 ($\nu \times 10^6$) (m^2/s)
10	1 307	1.307
20	1 002	1.004
30	797	0.801
40	653	0.658
50	548	0.554
60	467	0.475
70	404	0.413
80	355	0.365
90	315	0.326
100	282	0.295