

川田 裕郎 小宮 勤一 山崎 弘郎 編著

流量測量手冊

計 量 出 版 社

流量测量手

〔日〕 川田 裕郎 小宫 勤一 山崎 弘郎 编著

罗素 王金玉 谢纪绩 韩立德 洪启德 译 王自和 校

计量出版社

1982

内 容 提 要

本手册全面、系统地介绍了在化工、石油、冶金、水利工程、城市给水排水等许多工农业生产领域以及医药卫生、环境保护、商业、进出口贸易、节能等方面所需要的流量测量的原理、方法以及各种类型的流量计，并以大量的数据和图表说明各类流量计的性能及其应用范围。

本书共分三编：第Ⅰ编介绍有关流量测量的一些基本知识。第Ⅱ编介绍各种类型的流量计（包括流速计）的测量原理、方法、性能、结构、尺寸、测量范围和测量精度；大量介绍了新发展的各种流量计及其应用范围。第Ⅲ编介绍了各种流量测量方法在大流量、微小流量、高温、极低温、脉动流、血液流量及混相流等领域内的应用。

读者对象：从事流量测量的工程技术人员、研究人员以及高等院校有关专业的教师、研究生及高年级学生。

流量计测ハンドブック

川田 裕郎 小宫 勤一 山崎 弘郎 编著

日刊工業新聞社 1979

流 量 测 量 手 册

〔日〕川田 裕郎 小宫 勤一 山崎 弘郎 编著

罗秦 王金玉 谢纪绩 韩立德 洪启德 译 王自和 校

计量出版社出版

（北京和平里11区7号）

技术标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 27¹/₂

字数 690 千字 印数 1—13 000

1982年2月第一版 1982年2月第一次印刷

统一书号 15210·109

定价：3.75 元

科技新书目，12—149

序

我们在日常生活和生产活动中，广泛地接触各种流体，而且往往需要知道这些流体的流量。因此，很多部门都要对在不同状态和条件下的各种流体的流量进行测量。

目前已经研究了各种流量测量方法，过去因条件的特殊而难以测量的流量，现在也可以测量了，用于测量各种测量条件和对象的流量计已广泛地用在各个领域。

如何选用具有不同特性的、各种形式的流量计来测量流量，即使是长期从事流量测量的人员，也往往感到困难。因此，我们早已计划编写一本包括各种流量测量方法和流量计特性及使用方法等的流量测量全书。经诸位先生协作、由我编辑并于1964年在日刊新闻社出版了《工业测量技术大全》的第二卷和第三卷的《流量（上、下）》。此书出版已15年了，在此期间曾想进行修订，可是一直没有机会。听说《工业测量技术大全》已绝版，经与日刊工业新闻社出版局的先生商量，在新的构思基础上，汇编一本最新的流量测量手册，该书现在问世。

编辑此书时，承蒙东京大学教授山崎弘郎博士和计量研究所的小宫勤一博士的协助。

本书整个内容，由流量测量的基础编、测量各论编、应用测量编三部分组成。但是，其中任意的编、章都能独立成篇。诸位执笔先生都是活跃在日本流量测量第一线的各个领域的专家，他们以自己的实际经验和研究资料编写了本手册，因此，内容丰富。

川田 裕郎

1979年5月

总 目 录

第 I 编 流量测量的基础知识

1. 引言.....	(1)
2. 流量和流量计.....	(3)
3. 流量测量中的一般注意事项.....	(5)
4. 管路内的流动和整流装置.....	(13)
5. 流量测量中所需的流体物性值.....	(21)
6. 流量计的校验.....	(31)

第 II 编 流量测量方法和仪器

1. 节流流量计.....	(41)
2. 容积流量计.....	(152)
3. 面积流量计.....	(168)
4. 叶轮流量计.....	(175)
5. 电磁流量计.....	(192)
6. 超声波流量计.....	(211)
7. 量热式流量计.....	(231)
8. 皮托管.....	(240)
9. 层流流量计.....	(247)
10. 动压流量计.....	(256)
11. 用堰、槽测量流量.....	(261)
12. 质量流量计.....	(284)
13. 流体振动流量计.....	(301)
14. 激光多普勒流速计.....	(317)
15. 标记法测流量.....	(329)

第 III 编 流量测量方法的应用

1. 大流量的测量.....	(345)
2. 微小流量的测量.....	(365)
3. 高温流体的流量测量.....	(370)
4. 极低温流体的流量测量.....	(378)
5. 脉动流的流量测量.....	(388)
6. 混相流的流量测量.....	(394)
7. 生物体内的流量测量.....	(403)
8. 流体漏泄的检测技术.....	(413)
附录: 压力单位换算表.....	(418)
索 引.....	(419)

1. 引言

在我们周围，有空气、水及煤气等各种流体。这些流体与人们的日常生活和社会活动有着非常密切的关系。人体内的血液在循环；我们周围的空气在流动；日常生活需要有自来水和煤气的供给；用过的水通过下水道排出等等。仅以行驶中的汽车来说，就有作为燃料的汽油、帮助汽油燃烧的空气、发动机用的润滑油以及排出的废气等各种流体，不可胜数。这些流体都与人们有着密切关系。

我们使用各种流体时，往往需要了解这些流体的性质和数量。在多数场合，需要了解流体的流量，因此在各个领域中都测量流体在各种流动状态下的流量。例如，为了研究血液流量的变化对人体活动机能将产生怎样的影响，就需测量血液流量。为了收取煤气费和水费，就要测量用户的煤气、自来水的使用量。从管理上来看，煤气公司和自来水厂等都需要进行测量，废水处理厂也要进行管理性质的流量测量。为了测量汽车排气中污染大气的物质，就需测量排气流量。目前，为了进一步减少排气中的污染物质、节约汽油的消耗量，需要调整发动机的空气和燃料之比，为此，就一定要测量空气和燃料的流量。从其他生产领域来看，各种流体的流量测量也非常重要，在生产过程的管理上或流体运输和商业交易上也必须进行各种流体的流量测量。

最近，工业技术发展很快，从而要求流量测量的精度也更高，测量的流体也多样化了。如测量对象有气体、液体、混合流体，测量条件有从高温到极低温的温度范围、从高压到低压的压力范围。另外，既有低粘度的液体，也有粘度非常高的液体，还要求能在从微小流量到大流量的流动范围内进行流量测量。层流、紊流、脉动流、混相流等各种流动状态下的流量都成了测量对象。目前的流量测量极其复杂、多样，用一种流量测量方法根本不可能完成所有流量的测量，为此，要根据测量目的、被测流体的种类和流动状态、测量场所等测量条件，研究各种相应的测量方法。

流量计有不同的分类方法，目前正在使用的流量计已超过100种，测量原理、测量方法和结构各有各的特征和特性，测量操作和使用方法也不一样。所以，测量流量时，事先要充分研究测量条件，选用测量方法适合于这些条件的流量计。另外，测量人员必须充分了解各种流量的测量方法和流量计的特征、特性。

在测量流量时，如果仅是装上流量计、读出测量值，不一定就能获得准确的流量。有的流量计由于安装方法、流量计前后管路的状态不同，流动状态受到了影响，因而其特性发生变化。为了准确地测量流量，不但要懂得流量计本身的有关知识，也要知道包括流量计的整个测量系统的有关注意事项。例如：作为测量流量时一般的共同事项：流量计的流入部要整流；在液体的场合，不要混入气泡。为此，往往必须在流量计的上流侧安装整流装置和消气装置后才可进行测量。另外，在使用流量计和附属装置时，由于摩擦、腐蚀或流体中浮游物等附着物的影响，有出现性能变化、产生故障的可能。因此，要对其采取措施。为了进行可信赖的流量测量，使用中的维护管理也是极其重要的。

也有这样的流量计：如果不求出被测流体的物性值，例如，密度、粘度、压缩率、热容比等，它就不能测量该流体的流量。因此，有时就需要知道这些流体物性值的测量方法或求出方法。

流量计的校验也是准确地进行流量测量的重要工作。流体流过流量计时，用标准流量计

和校验装置测量其流量，以校准流量计的刻度。这种方法使用很广。在仪器使用过程中，每隔适当的期限，这种校验工作需要进行一次。

为了进行可以信赖的流量测量，当然必须掌握有关流量计的知识，也要注意配套仪器、考虑好整个组装系统。特别是近年来，流量测量技术有了很大的进展，新式的流量计相继使用，过去难以测量的流量，现在可以测量了。另外，随着流量测量精度的提高，开辟了新的流量测量领域；同时，随着电子技术的发展改进了流量测量方法，采用了质量流量测量方法等等，流量测量最近有了惊人的发展。因此，对有关流量测量的资料进行系统总结（包括最近的流量测量新资料），将在流量测量工作中起到很大的作用。

2. 流量和流量计

在流体的流动中, 具有某一定面积的截面, 把流过该截面的体积或质量与时间之比称为流量。用流体流过的体积与时间之比来表示流量时, 称为体积流量 (或容积流量)。用流体流过的质量与时间之比来表示流量时, 称为质量流量。

一般地说, 流量的测量对象就是流过管路或沟渠的流体。在这种情况下, 我们来研究具有某个一定面积的管路或沟渠的截面, 称流过该截面的流量为流过该管路或沟渠的流体流量。

如果流体的流动是不随时间而变化的流动, 即稳定流。那么, 体积流量可以用流体在单位时间内通过具有一定面积的截面时的体积来表示。质量流量可以用流体在单位时间内通过具有一定面积的截面时的质量来表示。当流动是非稳定流时, 流量时时刻刻地都在变化着。这种情况下的某一时刻的流量, 可以假定该时刻的流动保持恒定不变, 用单位时间内流过的流体的体积或质量来表示。

设流体通过截面中的某一微小面积为 dF , 并将通过该微小面积流体的流速取为 v 时, 则流体通过微小面积 dF 的体积流量 dQ 为:

$$dQ = v dF \quad (2.1)$$

所以, 流体通过整个截面的体积流量 Q 可对截面积 F 进行积分而求出, 即:

$$Q = \int_F v dF \quad (2.2)$$

如果整个截面上各点流速相同, 从式 (2.2) 可以导出:

$$Q = vF \quad (2.3)$$

质量流量可以用体积流量和流动流体的密度之积来表示。如果质量流量为 G , 流动流体的密度为 ρ , 则:

$$G = \rho Q = \rho v F \quad (2.4)$$

测量这些流量的仪器叫做流量计。专门测量体积流量的流量计称为体积流量计, 测量质量流量的流量计称为质量流量计。它们一般都是用于测量流过管路或沟渠的流体的流量。

另外, 还可以用流速计来测量流过管路和沟渠的流体的流量。即用流速计测量管路和沟渠的截面上的几个位置的流速, 利用式 (2.2) 的关系可以求出体积流量。实际上是根据截面上各个位置的流速测量结果求出平均流速, 再与截面积相乘求出体积流量。用于测量气体流速的流速计也称为风速计。这里所叙述的内容也包括用流速计或风速计测量流速的方法。

用流量计测量流过管路和沟渠的流体的流量时, 常常在测量流量的同时也要测量流体流过的体积或质量, 也就是说, 需要测量通过体积或通过质量。现在使用的很多流量计, 都是在测量流量的同时, 也测量出通过体积或通过质量, 当然也有只测量通过体积或通过质量的。测量这种流过管路和沟渠的流体的通过体积或通过质量的仪器一般也称为流量计。

如果体积流量为 Q , 质量流量为 G , 那么, 在时间 t 内流体的通过体积 V 和通过质量 M 为:

$$V = \int_0^t Q dt \quad (2.5)$$

$$M = \int_0^t G dt \quad (2.6)$$

因此, 如果流动为稳定流, 流动流体的密度 ρ 为一定的话, 从式 (2.5) 可得 $V = Qt$, 从式 (2.6) 可得 $M = Gt$, 如果应用式 (2.4) 的关系对此进行整理, 则:

$$M = Gt = \rho Qt = \rho V \quad (2.7)$$

通过体积 V 和通过质量 M 分别如用式(2.5)和式(2.6)的关系所表示的那样, 为体积流量和质量流量的累积值, 因此, 把这样测量的 V 和 M 称为累积流量。以测量累积流量为主的流量计称为累积流量计。以测量体积流量的累积值为主的流量计也称为累积体积计。准确地说, 累积流量就是流过的流体体积或质量。所以, 累积流量的测量就是一种体积测量或质量测量。因此, 应该认为累积流量计就是体积计和质量计的一种。所以, 下面所叙述的也包括流过管路和沟渠的流体累积流量的测量。

体积流量的单位为米³/小时、厘米³/秒, 质量流量单位为千克/小时、克/小时。流量单位为米/小时、米/秒、厘米/秒等, 体积流量或质量流量的累计值的单位分别为米³、厘米³、升或吨、千克、克等。

作为过去采用的流量表示方法有利用重量流量表示的方法。所谓重量流量就是: 当认为流量保持一定时, 用单位时间内通过一定面积的截面流过的流体重量来表示的流量。现在, 将重量流量取为 W , 流过流体的每单位体积的重量取为 $\gamma(\gamma=\rho g)$, 重力加速度取为 g , 则:

$$W = \gamma Q = \rho g Q = g M \quad (2.8)$$

一般地说, 重量流量的单位用单位时间的千克重(kgf/h或kgW/h)来表示, 而千克重(kgf或kgW)为当重力加速度是9.80665米/秒²时具有1千克质量的物质的重量(对于1千克质量的物体, 若某个作用力使它产生9.80665米/秒²的加速度时, 则把该作用力的大小称为1千克重), 所以, 如果在重力加速度为9.80665米/秒²的地方测量流量时, 用千克重/小时表示的重量流量和用千克/小时表示的质量流量的值, 在数值上是相等的。但是, 最近宇宙空间中也在进行流量测量, 并没有用重量流量来表示。另外, 在国际上通用的国际单位制(称为SI)中, 也不采用kgf和kgf/h单位。

3. 流量测量中的一般注意事项

3.1 流量测量方法和特性概述

现在各种流量测量方法正应用于各种流体的流量测量中。把这些流量测量方法从各个方面加以分类整理并比较研究它们的特性,那么将对选择流量计以测量流量时能起到一定的作用。因此,这里首先从测量原理加以分类,并概述一下它的特征,其详细内容将在后面第二编中叙述。下面我们只概括地说明一下流量测量方法的原理和特性,就测量原理的特征简单地作一比较研究。

首先,研究一下节流流量计、面积流量计、量水堰等应用伯努利 (Bernoulli) 原理的流量测量方法。

伯努利原理适用于流动为稳定流、不具有粘性的流体。应用伯努利原理的流量计,原则上应在满足以上条件的流动场合下使用。例如:如果流动含有脉动流,则应该用除掉脉动流的装置,使其变为稳定流以后再使用。但是,从实用的角度来讲,也要用它来测量含有脉动流的流量,在那种情况下,就要检查一下因含有脉动流而产生的影响,并加以修正(其详细内容请参阅第二编)。另外,没有粘性的流体实际上是不存在的,所以,需要考虑粘性的影响。对此,事先要通过实验求出修正系数,然后进行流量测量。在高粘度流体和细管内的流动等所谓低雷诺数(请参阅第一编的第4.4节)的流动中,粘性的影响很大,很难对此进行精确的修正,要加以注意。

用节流流量计和面积流量计测量流量时,事先必须知道流体的密度。此测量方式是在管路中途安装了使截面缩小的节流机构,如果流体通过节流机构流动时所产生的节流使前后的压力差为 ΔP 、节流面积为 F ,流动流体的体积流量为 Q 、质量流量为 G 、流体的密度为 ρ ,则从伯努利原理可导出它们之间的关系式如下所示:

$$Q = CF \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \text{ 和 } G = CF \sqrt{\rho \Delta P} \quad (3.1)$$

这里, C 是节流机构的装置常数。由此关系式可知,如果节流面积和密度一定,则流量与压力差的平方根成正比。如果压力差和密度一定,则流量与节流面积成正比。前者是节流流量计的测量原理,后者是面积流量计的测量原理。另外,不管是测量体积流量还是测量质量流量,事先都要知道流动流体的密度,如果密度发生变化,测量就要受到这种变化的影响。

但是,如果应用伯努利原理的流量计(如量水堰之类)是用流动流体的液柱差 ΔH 来表示压力差的话,应有 $\Delta P = \rho g \Delta H$, 则从式 (3.1) 可导出:

$$Q = CF \sqrt{g \cdot \Delta H} \quad (3.2)$$

测量出的体积流量与密度无关。

下面研究一下应用动量原理测量流量的方式。属于该测量方式的流量计有动压板流量计以及弯头管流量计(也叫做弯管流量计)、环形管流量计等利用弯管的流量计。

这些流量计可利用平板和弯管等来改变流过管路的流体流动方向,检测动量求出流量。在一次变换部可将动量变换为压力、位移、力等。如果被检变换量为 x , 那么,它与动量成正比,而且动量与 ρQ^2 成正比,则 $x \propto \rho Q^2$ 。因此,如果比例常数为 C (由装置决定的常数),

则:

$$Q=C\sqrt{\frac{x}{\rho}} \quad (3.3)$$

因此, 这种形式的流量计也和前面所述的利用伯努利原理的流量计一样, 流量与被检测变换后的量的平方根成正比, 而且必须求出流体的密度。但是, 此方式可利用管路的弯管部分测量流量, 不必在管路内安装收缩截面的装置。

有一种容积式流量计, 它仅次于节流流量计, 广泛应用于各种气体和流体的流量测量。它是将流过管路的流体量, 以一定容积的“斗”连续地反复地进行测量的一种流量计, 所以, 在测量体积流量时, 从原理上看不会受到流体的密度和粘度的影响, 它也适用于雷诺数小的流动和高粘度流体的流量测量。而且, 这种流量计还可精密地测量流动流体的通过体积, 因此采用了容积流量计的测量方法可以代替过去使用容器测量流体容积的方法。但是, 一般地说, 含有微小颗粒和尘埃的流体, 有可能妨碍正常的工作, 因此, 要在流量计的上流侧安装过滤器。另外, 在测量高粘度流体时, 压力损失将会变大, 使用时要注意。

作为测量流过管路内的流体流速或平均流速而求出流量的方法有采用皮托管和热线风速计等流速计的方法以及求平均流速方式的电磁流量计、超声波流量计、涡街流量计(流体振动流量计)、叶轮式流量计等。

使用上述流量计的时候, 一定要考虑流量计的上流侧的流速分布。流速分布的变化直接地影响到流量测量值, 是产生测量误差的原因, 因此往往需要在流量计的上流侧的管路上安装适当长度的直管段或适当的整流装置, 来调整流速分布。

因为皮托管是一种流速计, 所以, 求流量时要测量管路截面的各个位置的流速, 再求出平均流速, 然后与管路的截面积相乘。由于它安装和操作简单, 因此可用于大型管路的流量测量。测量气体时, 难以精密地测量每秒几米以下的流速。如果流体的密度发生变化, 测量精度要受到此变化的影响。

热线风速计可以测量每秒几米以下的低流速。目前广泛使用的热线风速计有用直径为0.01—0.1毫米的铂丝的, 也有用热敏电阻的。铂丝方式容易断线。另外, 流体的成分和密度发生变化时, 测量结果要受到影响, 热线和气体的温度差发生很大变化时, 也要受到影响。

电磁流量计应用了法拉第(Faraday)的定律, 所以, 被测对象流体要具有导电性, 用它可测量自来水和河水等, 但不能测量油和普通状态的气体的流量。这种流量计即使用于急剧变化的水流里, 从测量原理上看也不会受到什么妨碍, 响应非常迅速, 适用于流量变化的水流的测量。另外, 该流量计还有一个很大的优点, 就是管路中没有妨碍流动的东西。但要注意流速分布的情况。当管路是圆形截面时, 如果流速分布的形状只用距管路中心轴的距离(半径)的函数来表示, 则流量计检测的感应电压就与管内的平均流速(流速分布的详细内容在第I编的第4.2节中叙述)成正比。

超声波流量计是在管路的侧壁相向地安装超声波发生器和接收器, 从发生器发出的超声波传到接收器的速度变化与管路内的流体流速成正比。因此, 如果某种流体能传送超声波, 则可用此法测量流量。如果微小颗粒大量地混入到流体中, 超声波的衰减就增大, 此时不能再使用此法。气体用的超声波流量计正在试制, 还没有实用于工业上。这种形式的流量计也和电磁流量计一样, 在管路中没有阻碍流动的物件。但是, 也必须注意流速分布的影响。超声波流量计也有几种不同的构造, 虽然根据其构造不同而要求条件不同, 但现在采用的是测

量管路径向上的平均流速的方式，这要求调整流量计入口的流速分布。一般地说，如果流速分布的变化不是很大的情况下，其对测量精度的影响大约为1%以下。关于这些通过测量流速而求流量时的注意事项以及有关整流装置的情况，在第I编的第4.2节和第4.3节中加以叙述。

涡街流量计是采用这样一种测量方法，在河流中安装圆柱或三角柱，利用其下流侧规则地产生的涡来测量流量。为使流动流体产生涡，在流动流体中安装了圆柱等简单装置，所以这种流量计既适用于大型管路的流量测量，也适用于低流速的流量测量。为了产生既稳定又规则的涡，需要调整流量计的流入部的流速分布。

叶轮流量计是利用流体的流动使叶轮旋转，由测量转速而求出流量。它有很多种结构，叶轮式风速计、水表就是其中的两种。用于工业上各种液体和气体的流量测量的还有涡轮流量计。涡轮流量计体积小，可以测量大流量，而且在测量流量的同时还可以较精密地测量累积流量，目前它已产品化。这种类型的流量计，如果叶轮转轴部分的机械摩擦力发生变化，它的特性就有可能发生变化。因此，测量含有微小颗粒的气体流量时，就有一种空气净化式流量计。高粘度液体有的呈现出复杂的流量特性，使用时要加以注意。

除上述方法以外，较为广泛应用的还有利用由流体粘性阻力而产生压力降的层流流量计以及利用流体中热源的冷却或加热作用的热式流量计等等。层流流量计是用来测量在雷诺数小的层流状态下流动的流体，所以它不适用于含有微小颗粒的流体。因此，在测量含有微小颗粒的流体时需要安装过滤器。流量和粘性阻力产生的压力降近似为线性关系。因此，层流流量计适用于气体以及液体的微小流量的测量和高粘度液体的流量测量。

但是，如果流体的粘性阻力发生变化，该流量计会受到此变化的影响，必须加以注意。目前已设计出各种结构的热式流量计，有的可以直接地进行质量流量测量。这种流量计的缺点是有的响应速度慢。

此外，流体的比热随组成而变化，该种流量计会受到此变化的影响。

上述各种流量计，除一部分热式流量计外，从原理上看都是测量体积流量的流量计或者是不求出流体密度就不能测量流量的节流流量计等。因此，如果用这些流量计测量流量，当流体的密度、温度、压力发生变化时，会受到这些变化的影响，难以准确地测出流量。此外，就是测量体积流量，有时也无意义。因此，出现了在这些流量计中安装温度、压力检测器，将体积流量换算为标准状态的温度、压力自动补偿的流量计。另外还有在这些流量计上安装密度检测器，求出质量流量的间接式质量流量计。这些流量计用于温度、压力变化的流体流量测量。近年来，直接检测质量流量方法的所谓直接式质量流量计已实用化。但是，还没有广泛用于工业领域。

3.2 体积流量和质量流量的测量

如果从流量测量目的来考虑，多数场合测量质量流量是合理的。特别是当流动流体的温度和压力发生变动的时候，即使测得体积流量也无意义。在测量体积流量的同时，也应测量流体的温度和压力。如果条件允许，希望采用这样的测量方式，即通过自动补偿温度和压力求出换算到标准状态的体积流量，或求出质量流量。

由于上述原因，目前正研制可以直接地测量质量流量的流量计。但是，现在的情况是适于广泛使用的质量流量测量方法还没有应用于实际。除特殊的流量测量外，目前仍在采用体积流量测量方式。

如果流体的温度和压力发生变化,其密度也要变化。一般地说,在液体的流量测量中,因压力变化而产生的密度变化非常小,可以忽略。可是,必须考虑由于温度变化而发生的密度变化。因为温度每变化 10°C ,液体的密度变化在 1% 以下。所以,除了温度变化大时或需要进行特殊的精密流量测量的情况外,忽略温度变化对密度变化的影响也是允许的。测量气体的流量时,温度和压力所产生的密度变化比测量液体时要大,因此,必须对其影响加以注意。我们知道,在常温下,如果温度变化为 10°C 左右,则气体的密度变化约为 3% ,在压力约为一个大气压时,如果压力变化为 1 米水柱,则密度变化约为 10% 。

因此,在流动流体的温度和压力变化的情况下测量流量时,即使是测出了体积流量,其结果也是无用的。在这种情况下,应采用质量流量测量方法换算为标准状态下的体积流量。采用体积流量测量方法还是采用质量流量测量方法,应根据流量的测量目的和流体的状态来决定。

但是在多数场合下,如果管路确定了并保持某个一定的工作状态的话,则流动流体的温度和压力的变动较小,因此流体的密度变动也较小,可忽略其影响。这种情况下,一般用体积流量测量方法就可达到测量目的。在温度和压力变化很大的状态下和要求精密测量的情况下,应该采用质量流量测量方法,或测量换算到标准状态下的体积流量的方法。

3.3 流量的直接测量和间接测量

大家都知道,测量物体的量有直接测量和间接测量两种方式。所谓直接测量,就是将测量与同种类的标准量进行比较进行测量的方式。所谓间接测量方式,就是测量出与被测量具有一定关系的几个量,从这几个量导出被测量的值的测量方式。所谓用直接测量方式测量流量是一种什么样的测量?所谓用间接测量方式测量流量又是一种什么样的测量?下面叙述这两种方式的不同点和特征。

我们测量流量时,是在待测其流量的管路上安装流量计,当流体流动时,就可读出流量计的示值,测出流量。此时,要求出准确的流量值,就需要准确地校准流量计所指示的刻度。作为流量计的刻度的校准方法,最直接的方式是使被测流体流过被校流量计,再用别的任何一种标准装置准确地测出该流过流体的流量来进行流量计的分度。

很多流量计都是用这种方式校准刻度后使用。因为此校准方法是使实际流体流过而校准流量计的刻度,所以也叫做实流校验方法。

用实流校验方法校准流量计,再用这种流量计测量流量,这种方式实际上是以预先已知流量(这是标准量)的流体流过,据此进行刻度,然后再用比较法测出未知流量的一种方式。所以,也可以说是流量的直接测量方式。采用这种直接测量方式测量流量,测量值既可靠又准确。因此,目前使用的很多流量计的测量方式都是采用直接测量方式。而且作为确定标准流量的方法,是采用标准容器和标准秤以及其它方式。标准装置和校准方法在第I编的第6章中叙述。

近年来,随着工业机构的大型化和石油、煤气、水的消费量的增大,大流量测量的必要性也增加了。另外,随着工业技术的发展,需要测量特殊流体的流量或高温和低温下以及高压下等特殊状态下的流体的流量。这使得这些被测流体流过而进行实流校验产生了困难,甚至于不可能进行这样的校准。也就是说,此时用直接测量方式测量流量非常困难,有时甚至根本就不能测量。解决这些问题的一个方法是采用间接测量方式。另外,作为折中的解决方法是用直接和间接相结合的测量方式测量流量。

先研究一下流量的间接测量方式。此测量方式虽然不是使实际流体流过、校准流量计刻度的直接测量流量方式，但实际上此方式并不简单。比如说电磁流量计，原理上是应用法拉第定律的流量计，所以，比较适用于流量的间接测量方式。此流量计的测量原理是：在直径为 D 的管路中，当导电性流体以平均速度 $\bar{v}$ 流动时，在与流束垂直的方向上设置有磁感应为 B 的磁场，这样在与流动方向和磁场方向垂直的管壁上相向安装的两个电极之间将产生电动势 E ，在它们之间，应用法拉第定律就有 $E = \bar{v} B D$ 的关系，因此，流过管路的体积流量若为 Q ，则由 $Q = \bar{v} \pi D^2 / 4$ 的关系可得：

$$Q = \frac{\pi}{4} \frac{D}{B} E \quad (3.4)$$

如果确定了管路的直径 D 和磁感应 B ，通过测量电极之间的电动势 E 就可求出流量 Q 。由此关系式可知，电磁流量计在原理上是测量管路的直径、磁感应和电动势，再利用式(3.4)的关系求出流量，即可进行所谓流量的间接测量。实际上为使式(3.4)成立，要求磁场方向与电极轴以及流动方向垂直，而且该磁场要无限地、在管轴方向上均匀地分布；管路为圆型截面时，内径要固定；流体的电阻率要一样；要各向同性；流动要平行于管轴，且为轴对称……，还必须满足其它条件。但是，要制造出满足上述条件的电磁流量计是非常困难的，特别是制造大型的电磁流量计，实际上根本不能实现。如果构造不满足式(3.4)（它是严格地由法拉第定律导出的）成立的条件，那就不能直接将式(3.4)用作流量计的计算式，必须进行由于不满足这些条件而加的修正。由于不能满足这些条件，一般要乘以修正系数 C ，即用下式作为实际流量计的计算式：

$$Q = C \frac{\pi}{4} \frac{D}{B} E \quad (3.5)$$

因为目前制造的工业用的电磁流量计是以式(3.5)为测量原理的，所以除 D 、 B 、 E 以外，如果不知道系数 C 的值，就不能求出流量 Q ，该系数 C 一般叫做装置常数。要求出 C 值必须用实流校验方法通过实验解决。这实际上是由实流试验求出 Q 和 E 之间的关系，即利用直接测量方式测量流量。

以上，以电磁流量计为例叙述了间接测量流量的难度。但是，流量计的大容量化和在特殊状态下进行流体流量测量的需要性增加了。所以希望研制不必进行实流试验的间接测量方式的流量测量法。采用皮托管求出管路内的流速分布的测量流量的方法就是间接测量方式之一。另外，稀释法作为间接测量方式也是应予注意的方法。稀释法是把作为标记用的物质以一定的小流量混入管路流体中，该物质在流体中充分混合后，在下流取样，通过测量混入物质的浓度求出流量。此方法是大流量和特殊状态下的流体流量的间接测量方式的有效方法，也是其它直接测量方式的流量计在现场中进行实流试验时作为标准流量计算方法的一种有用方式。用皮托管和稀释法测量流量的方法，在第二编中详细叙述。

此外，还考虑了其它间接测量方式的流量测量法。总之，要能够进行精密的流量间接测量，就要明确流量和能够间接地求出流量而测的其他量之间的关系式，同时要使测量状态和测量机构能充分满足该关系式严格成立的必要条件。间接测量方式的流量测量法的研究及其实用化和应用方面的措施，是今后的研究课题。

如上所述，用间接测量方式进行精密的流量测量，要达到一般的实用化还存在很多问题，有待于今后花一定的时间去研究。因此，作为一种弥补的措施，用直接和间接相结合的测量方式进行流量测量就成了流量测量上的一个很重要的工作。

当对直接测量方式的流量计进行实流校验时，若该流量计可用水和空气进行校验，标定的结果可用于其他流体时，显然，用空气和水进行实流校验要比直接用其他流体试验简便。另外，如果对流量较小的流量计进行实流校验后，利用相似原理能推测出相似的大流量的流量计的装置常数并进行标定的话，这种方法也很简便。这种由较容易的实流校验结果，可以间接地对其他特殊流体进行标定，或对大流量的流量计进行标定的测量方法很多。

其中有代表性的方法有利用孔板等节流装置的流量测量法。若节流流量计适用于相似原理情况下，那么，对小型管路通过实流试验求出的流量系数（可认为是节流流量计的装置常数），也适用于大型管路。因此，在大型管路的流量测量中，即使不进行实流校验，也能获得较好的流量测量精度。表3.1是节流径比 β 为0.1, 0.5, 0.7的缩流取压式孔板流量计当雷

表3.1 缩流取压式孔板流量计的流量系数 α （雷诺数为 10^7 时）

节流径比β 管路直径	0.1	0.5	0.7	节流径比β 管路直径	0.1	0.5	0.7
150(mm)	0.5930	0.6193	0.6971	375	0.5925	0.6193	0.6971
200	0.5927	0.6193	0.6971	500	0.5924	0.6193	0.6971
250	0.5926	0.6193	0.6971	750	0.5924	0.6193	0.6972

诺数为 10^7 时的流量系数 α 的值，它是从直径为750毫米以下的管路的实流试验结果中求出来的。所谓缩流取压方式，就是测量孔板前后压差的测压孔位置的一种取法，一般认为它能很好地适用相似原理。其详细内容请参阅第Ⅱ编的第1章。另外，雷诺数和相似原理，在第Ⅰ编的第4章中详细叙述。从表3.1所示的流量系数的值中可以知道，系数值几乎不随管径变化。因此，不难想到，即使从此结果中推断出750毫米以上的大型管路的流量系数，也不会带来很大的误差。而且，节流流量计对于不同种类的流体，只要雷诺数相同，流量系数就能相同，因此，用空气和水进行实流校验的结果可以应用于其他流体，并且很简便。目前，节流流量计之所以广泛应用于工业领域，其理由就在于此。

用与节流流量计相同的方法进行标定试验的还有电磁流量计。此方法是对较小型的、管径不同的电磁流量计进行实流试验，用其实验结果和相似原理推导出大型电磁流量计的装置常数并进行标定。目前也把这种标定叫做干式校准。此外，如上所述的利用直接和间接相结合的测量方式测量流量的流量计还有超声波流量计、涡街流量计、差压控制式的容积流量计等，其详细内容请参阅第Ⅱ编的各章。

3.4 选择流量计的注意事项

通过上述说明可知，各种流量计或流量测量方法分别具有不同的特性、特征。所以，当用它们测量流量时，要充分考虑其特性和特征，选择最适于测量条件的流量计，使得在能够充分发挥其特性和优点的状态下使用。

下面就测量流量时选择流量计和测量方法的一般注意事项，分测量目的、被测流体的性质、状态、测量场所几项加以叙述。

（1）由测量目的应该考虑的事项

首先充分理解流量测量目的并努力掌握它，这一点是很重要的。明确了测量目的，就要

为实现此目的而采用相适应的测量方法。作为主要的注意事项要考虑的是：要测体积流量，还是要测质量流量？是把重点放在流量（瞬时流量）测量方面，还是把重点放在通过体积（流量的累积值）的测量方面？流量测量所需的精度是多少？是要准确地测出流量的绝对值，还是知道相对值就行？就是说，是否知道流量的变化就行了？是否需要准确地测出流量的变化？（流量测量的反应是否必须要快？）是只有指示就行，还是要考虑记录和传送的必要性？等等。

流量计按其测量方式、构造的不同，有适于测量体积流量的，有适于测量质量流量的，还有能精密测量流量累积值的和不能测的，有检测反应快的和慢的等等，这些内容已经叙述过了。除这些以外，按流量计的不同，有的能进行高精度测量，有的灵敏度高，有的构造能精确地求出流量绝对值，等等。必须按照测量目的、选择适于达到此目的的流量计。

应该指出，不需要高精度时，不要使用那些虽然精度高但价格昂贵而且使用麻烦的流量计。

（2）关于流体的性质、状态的注意事项

在流体的性质、状态方面应该注意的主要事项有：流体的成分、密度、粘度以及它们的变化情况、压缩率、腐蚀性、是否含有微小颗粒和气泡及其程度如何，还有温度、压力、湿度及其变化范围。此外，流动状态是紊流还是层流，雷诺数是多少，流量的变化范围有多大，是否含有脉动流，流体是否满管流动，等等。

如果密度和粘度有发生变化的可能，则应考虑是否采用不受其变化影响的流量计。在高温和高压下测量流量时，希望流量计的构造耐高温、高压。

流量计既有只用于气体流量测量的，也有用于气体和液体流量测量的。另外，因为一个流量计不可能测量很宽范围的流量，只可能测量适当的流量范围，所以，在测量从小流量到大流量变化着的流动时，要注意选择流量计。根据实际情况，可以并联安装几个测量流量范围不同的流量计，适当地转换使用。一般地说，流量计的流量范围（最小流量和最大流量之比）小的为1:3，大的为1:10或1:20左右。

（3）关于测量场所的注意事项

既有以测量管路中流动的流量为目的的流量计，也有以测量沟渠中的水流量为目的的流量计。象管路的截面形状、管路直径、有无直管段的情况，其它象压力损失的允许值、有无振动、安全保护问题、电源和空气源问题等，都属于流量测量场所的注意事项。

当管路直径大的时候，安装流量计会出现麻烦，也不容易进行实流校验，所以，要考虑这些问题以后再选择流量计（大流量和小流量的测量请参阅第三编）。如果管路内的流速分布状态发生变化，流量计会受到该变化的影响，为了用这种流量计精密地测量流量，流量计前后必须按所规定的长度配置直管段。当然，在可以安装这种必要的直管段的场所和不能安装的场所所使用的流量计是不同的。当必须将需要直管段的流量计安装在弯管附近使用时，所得到的测量结果，其处理方法就不同。

3.5 流量计安装和使用上的注意事项

通过考虑流量测量目的、被测流体的性质、状态、测量位置等有关条件，选择了适当类型的流量计后，就应将它安装在测量地点，开始测量。下面总括叙述在安装、使用被选定的流量计时一般的注意事项。

首先，再次检查选定条件的适用性，接着要再次考虑是否满足耐腐蚀性，是否耐温、耐

压，而后根据需要进行校验（校验方法以后叙述）。

如果经检查确认充分满足了必要条件，就可按规程和说明书规定的方法，将流量计安装在测量位置。此时，如果不按规定安装流量计，流量计就不能正常工作，或者会因产生明显的摩擦而减少寿命。流量计要安装在利于流量计读数和维修保管的地方，不应该有有害气体，避免过于恶劣的气候条件，尽量安装在常温的场所。

关于流量计配管的一般注意事项有以下几点：

i) 要充分考虑管路的连接部不要漏泄液体，也不要出现相反的情况，即进入空气。根据需要可在流量计的上流侧安装空气分离器（驱出气泡的装置）。

ii) 注意管路中不要产生气窝，在可能出现此情况的地方要安装去气装置。

iii) 不要因安装流量计而对管路增加不合理的或过大的应力。特别是在高温或低温的流体流动的地方，可安装弯管，使得管路不因热效应而增加压缩和拉伸应力。

iv) 考虑到流量计需要进行更换、发生故障、内部清扫等，可在安装流量计的管路上并联安装分流管路。但是，分流管路上要用绝对不漏洩的好阀门。

v) 流量计的前面要避免急剧节流。流量计的上流侧和下流侧要装有调节流量和截止水流的阀，但是，流量调节阀不是在全开状态下使用时，该阀应安装在下流侧。如把此阀安装在流量计的上流侧，在象汽油这种蒸气压低的液体中，会产生空洞现象（空穴作用），液体中有可能混入气泡。在不得已必须安装在上流侧的时候，要选用足够长的管路，使得消除其影响之后再流入流量计。

vi) 如果流量计受流速分布的影响，那么，在流量计的上流侧（需要的话，也要在下流侧）有必要长度的直管段。有时还要使用整流器（矫直装置）。关于整流器的介绍，请参阅后面的第 I 编第 4.3 节。

vii) 当进行流量计及其附属仪器的分解检查时，它们的前后要安装阀。若是液体管路时，要安装容易排出液体的排水管。

viii) 如果流量计需要在使用中定期地用标准表比对以进行校验，那就要安装校准用的配管，使得不卸下流量计就能直接试验。

ix) 在测量含有微小颗粒的流体流量时，有的流量计需要安装过滤器才可使用。但是，过滤器要经常进行清扫和更换。因此，希望在流量计的上流侧并联安装两个。

x) 根据需要可在流量计的入口或出口附近安装测量流体温度、压力的温度计和压力计。由于安装温度计和压力计有可能干扰流速分布使流量计受到流速分布的影响，在这种情况下，可将它们安装在下流侧或距流量计较远的上流侧。

安装完流量计及其它必要的附属仪器以后，实际上就可以使流体通过，开始运转。但是，有一个很重要的问题：原来在管内的焊接屑和土砂要大量地流过，因此，有可能损伤流量计和过滤器，这一点要充分注意。为了避免这种情况，要用短管代换流量计一段时间，或使其通过分流管等，以充分保证正常流动状态。

当流体开始通过流量计时，要一边观察管路及其它接口是否泄漏流体，一边慢慢打开阀门使流体流过，观察流量计是否正常工作。流体充分流过以后，开始正式测量。在进行正式测量之前，如有必要，要进行零点调整及其他调整。

流量计在使用中，要经常对其各个部分进行检查。要注意磨损、腐蚀、固体物的粘着和沉淀等。要根据使用场所的状况，每隔一定时期进行分解清扫、校验等，要进行维修和安全管理。