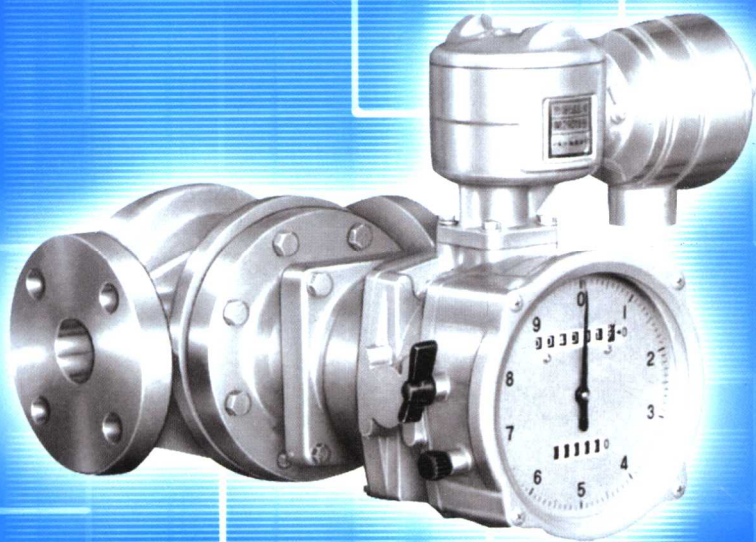


流量检测

LIU LIANG JIAN CE

吴九辅 © 主编



石油工业出版社

流 量 检 测

吴九辅 主 编

石油工业出版社

内 容 提 要

这是一本讲述流量检测及仪表的书。书中讲述了单相流和多相流测量技术及仪表装置，内容包括：核磁共振流量计、科氏质量流量计、质量式多相流量计等诸多流量测量的新原理、新技术。同时，对流量仪表的选型、标定也做了详细介绍。本书可供广大科技人员、高等院校教师、高年级学生、研究生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

流量检测/吴九辅主编.

北京:石油工业出版社,2006.11

ISBN 7-5021-5742-5

I. 流…

II. 吴…

III. 流量测量

IV. TH814

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 112603 号

流量检测

吴九辅主编

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:7

字数:178 千字 印数:1—2000 册

定价:20.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

在现代工程检测中，流量检测占有重要地位，流量信息的获取和掌握，对于生产安全、产品质量控制、经济核算都是必不可少的，流量检测在现代工农业生产、国防、军事、民用生活方面都是非常重要的计量。

本书最早是在中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司流量检测高级研讨班上的讲稿，经过近几年的补充完善，形成了此书。

流量就其被测介质，按其状态分为气体、液体和粉块（固体）及其组合的混合体。因此，本书就从多相流的角度出发，研究物体流量。除了体积流量外，还有质量流量以及多相流，从而全面论述现代工程对流量检测的要求及实现流量检测的技术原理、方法、流量检测的仪表。本书对流量仪表选型及标定也做了较详细的介绍。除了常规检测仪表外，还对当今最新技术成果，如：核磁共振流量计、科氏质量流量计、多相流的检测原理及仪表装置、预组装系统、前置计量标定装置等，都做了论述。

本书深入浅出，理论联系实际，是一本理论性、工程性、实践性都很强的书。

本书可供广大科技人员和高等院校高年级学生及研究生、教师参考。

本书由西安石油大学吴九辅教授主编。参加本书编写的还有西安石油大学程为彬、霍爱清副教授；中原油田吕清河高级工程师、刘岳龙工程师；大庆油田采油三厂李政军工程师；新疆油田丁明华主任。吴九辅教授的研究生李化龙、吴尽、李爱玲、杨充都对本书的撰写做出了贡献，在此一并致谢。

由于流量检测涉及多学科的知识，既需要有很扎实的理论基础，又要有巧妙的仪表构思，所以本书有些章节很可能叙述不够精深，乃至错误，敬请各位专家及读者批评指正。

吴九辅
2006年10月

目 录

第一章 流量测量的基本知识	(1)
1.1 单相流与多相流	(1)
1.2 流量与总量	(1)
1.3 管流和雷诺数	(2)
1.4 流量仪表的分类	(3)
第二章 容积式流量计	(5)
2.1 椭圆齿轮流量计	(5)
2.2 腰轮流量计	(6)
2.3 刮板流量计	(7)
第三章 节流式差压流量计	(9)
3.1 节流装置	(9)
3.2 差压式流量计的工作原理	(12)
3.3 差压测量	(13)
第四章 转子流量计	(17)
4.1 结构	(17)
4.2 转子流量计的工作原理	(18)
4.3 转子流量计的刻度换算和修正	(19)
4.4 转子流量计的安装和使用	(20)
第五章 靶式流量计	(21)
5.1 工作原理	(21)
5.2 靶式流量计的流量系数	(22)
5.3 靶式流量计的计算	(23)
5.4 靶式流量计的结构及安装	(23)
第六章 电磁流量计	(25)
6.1 工作原理	(25)
6.2 结构	(26)
6.3 电磁流量计中的干扰和抑制	(27)
6.4 转换器线路框图	(29)
6.5 电磁流量计的特点及选型	(30)
第七章 蜗轮流量计	(33)
7.1 蜗轮流量计的结构、原理及分类	(33)
7.2 显示仪表的原理	(36)
7.3 介质粘度对蜗轮流量计仪表系数的影响	(37)
7.4 蜗轮流量计的使用	(38)
第八章 超声波流量计	(39)

8.1	超声波流量计的基本原理	(39)
8.2	超声波换能器	(43)
8.3	超声波流量计算公式	(44)
8.4	超声波流量计的性能和特点	(45)
第九章	漩涡式流量计	(46)
9.1	卡门涡街式漩涡流量计	(46)
9.2	旋进式漩涡流量计	(47)
第十章	质量式流量计	(49)
10.1	直接式质量流量计——蜗轮转矩式质量流量计	(49)
10.2	推导式质量流量计	(50)
10.3	温度、压力补偿式质量流量计	(51)
第十一章	科里奥利质量流量计	(53)
11.1	工作原理及流量公式	(53)
11.2	逻辑电路与输出信号分析	(56)
11.3	科里奥利质量流量计的特点	(57)
11.4	科里奥利质量流量计的实际应用	(57)
第十二章	特殊流量测量和其他流量计	(59)
12.1	热式流量计	(59)
12.2	利用相关技术测量流量的相关流量计	(60)
12.3	核磁共振流量计	(60)
12.4	其他流量计	(64)
第十三章	多相流的检测	(65)
13.1	概述	(65)
13.2	两相、三相流测量的重要性及检测进展	(66)
13.3	气液两相流检测方案	(67)
13.4	油、气、水三相流检测方案	(74)
13.5	Fiuenta SMFM1000 型多相流量计	(86)
第十四章	流量计的选型	(87)
14.1	选型要点	(87)
14.2	选型参考表	(87)
第十五章	流量标准传递及其装置	(89)
15.1	液体流量的检定装置	(89)
15.2	气体流量的检定装置	(93)
第十六章	预组装系统	(95)
16.1	概述	(95)
16.2	流量计的校验	(95)
16.3	单向和双向标准体积管	(97)
16.4	精密型细体积的标准体积管	(99)
	参考文献	(106)

第一章 流量测量的基本知识

在现代工业生产过程自动化中，流量是重要的过程参数之一。在具有流动介质的工艺流程中，物料（气体、液体或固体）通过管道在设备间来往输送和配比，生产过程中的物料平衡和能量平衡等也与流量有着密切的关系。为了有效地进行生产操作和控制，需要对生产过程中各种介质的流量进行测量，以便为生产操作和控制提供依据。另外，在大多数工业生产中常用测量和控制流量来确定物料的配比与耗量，实现生产过程自动化和最优控制。同时，为了进行经济核算，也需要知道一段时间内流过的介质总量。因此，对管道内介质流量的测量和控制也是实现生产过程自动化的一项重要任务。

1.1 单相流与多相流

在自然界中，物体的形态是多种多样的，最常见的有固态、液态和气态。

由于热力学上将物体中每一个均匀部分叫做一个相，因此，各部分均匀的固体、液体和气体可分别称为固相物体、液相物体和气相物体或统称为单相物体。

液体和气体具有流动的特性，两者统称为流体。因此，各部分均匀的气体或液体的流动可称为单相流体的流动，或简称为单相流。

当物体各部分之间存在差别时，这一物体称为多相物体。例如，气体和液体的混合物、气体和固体的混合物以及液体和固体的混合物。多相物体的流动简称为多相流。有关多相流的检测本章有专门介绍，其他部分是对单相流的介绍。

1.2 流量与总量

1.2.1 流量（瞬时流量）

短暂时间内流过管道或明渠横截面的流体量除以该段时间，即为流量。该短暂时间应足够短以致可以认为在该段时间内流量是稳定的。

流量可分为体积流量和质量流量。

1. 体积流量

流体量用体积表示的流量，通常以符号 q_v 表示。它的常用单位是 m^3/s ， m^3/h 等。

$$q_v = \frac{dV}{d\tau} = v \cdot A \quad (1-1)$$

式中 V ——体积， m^3 ；

τ ——时间， s ；

v ——平均流速， m/s ；

A ——管道截面， m^2 ；

q_v ——体积流量， m^3/s 。

2. 质量流量

流体量是用质量表示的流量，通常以符号 q_m 表示。它的常用单位是 kg/s 或 kg/h 。

$$q_m = \frac{dm}{d\tau} = \rho \cdot q_v = \rho \cdot v \cdot A \quad (1-2)$$

式中 m ——质量, kg;
 q_m ——质量流量, kg/s;
 ρ ——密度, kg/m³。

1.2.2 总量 (累积流量)

在一段时间内流过管道或明渠横截面的流体累积量称为累积流量, 在数值上等于流量对时间的积分。

$$W_Q = \int_{t_1}^{t_2} q_v dt$$

$$W_M = \int_{t_1}^{t_2} q_m dt \quad (1-3)$$

流体总量的常用单位为 m³, L, kg 或 t 等。

1.3 管流和雷诺数

1.3.1 管流

充满管道截面的流体流动称为管流。管流有层流和紊流之分。所谓层流, 就是流体在管道中流动的流线平行于管轴时的流动。所谓紊流, 就是流体在管道内流动的流线相对混乱的流动。管道内流体的流动速度称为流速, 在一般情况下, 沿管道中心处的流速最大, 管壁处的流速为零, 轴心到管壁间的流速分布随流体的流动状态而不同, 如图 1-1 所示。典型的层流流速分布呈抛物线状态, 典型的紊流流速分布呈平头形分布。但是在弯管后和阀门后的流速分布比较复杂, 管流状态对流量的精确测量有较大的影响, 为此, 在流量计前后应用足够的直管段, 使管流呈典型流速分布。

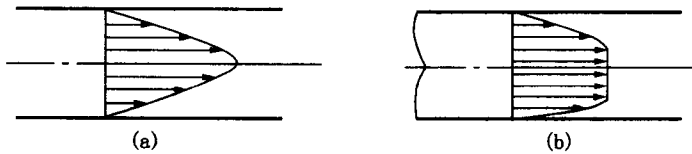


图 1-1 两种典型流速分布

(a) 层流; (b) 紊流

1.3.2 雷诺数 Re

表征流体惯性力与粘性力之比的无量纲参数, 即为雷诺数 Re 。

$$Re = \frac{D \cdot v}{\gamma} \quad (1-4)$$

式中 D ——产生流动的系统的特性尺寸, 对管道来说, 该特性尺寸就是指管道内径, m;
 v ——由特性尺寸所规定的横截面上的平均流速, m/s;
 γ ——流体的运动粘度, m²/s。

当 $Re < 2300$ 时, 表示流体粘性力较大, 呈层流状态; $Re > 20000$ 时, 表示流体惯性力较大, 呈紊流状态; $2300 < Re < 20000$ 为层流到紊流的过渡区。

层流时, 管道截面上的平均流速 v 为该截面上最大流速的 1/2, 即

$$v = \frac{1}{2} v_{\max}$$

紊流时，管道截面上的平均流速 v 与最大流速 v_{\max} 之比随 n 值而变化，如表 1-1 所示。表 1-1 中 n 为与雷诺数有关的常数，其数值见表 1-2。

表 1-1 紊流时圆管面的平均流速 v

n	7	8	9	10
v/v_{\max}	约为 0.816	约为 0.836	约为 0.852	约为 0.865

表 1-2 雷诺数与 n 的关系

Re	2.56×10^4	2.056×10^5	7.0×10^5	3.07×10^6
n	7	8	9	9.9

若已知管道内流体的平均流速 v 和管道的截面积 A ，则

$$q_v = v \cdot A$$

1.4 流量仪表的分类

工业上常用流量计种类很多，按其被测流体状态分类，有单相流和多相流。按其测量原理分类，大致可以分为下述几大类。

1.4.1 容积式流量计

容积式流量计是出现最早的一种流量计，它是利用流体本身的动力推动仪表的部件转动，利用仪表中某一标准体积连续地对被测介质进行称量，最后根据标准体积计量的次数，计算出流过流量计的介质的总容积。它主要用于累计流体的体积总量。这类仪表的测量精度很高，一般可以达到 $\pm 0.5\%$ 左右，有的还要高一些，而流体的密度和粘度变化对精度影响不大。但是，由于流体内存在转动部件，要求介质纯净，不含机械杂质，以免使转子磨损或卡住，使测量精度降低或损坏仪表。属于容积式流量计的有椭圆齿轮流量计、腰轮流量计等。

1.4.2 差压式流量计

差压式流量计是利用安装在管道中的节流装置（如孔板、喷嘴、文丘利管等），使流体流过时，产生局部收缩，在节流装置的前后形成静压差。该压差的大小与流过的流体的体积流量一一对应，利用压差计测出压差值，即间接地测出流量值。由于这类流量计的结构简单、价格便宜、使用方便，又有百分之几的精度，因此是应用最广泛的一种流量计。属于差压式流量计的有：节流式差压流量计和转子流量计。

1.4.3 速度式流量计

速度式流量计是采用直接或间接测量流体平均速度的方法测量流体的流量。属于速度式流量计的有：靶式流量计、电磁流量计、涡轮流量计、超声波流量计、漩涡式流量计及垫式流量计等。

1.4.4 质量式流量计

质量式流量计是测量所经过的流体质量。目前，属于此类流量计的有惯性力式质量流量

计（属于直接式的一种，还有所谓补偿式）、推导式质量流量计等。这种测定方式具有被测流体流量不受流体的温度、压力、密度、粘度等变化的影响，是一种处于发展中的流量测定方式。

1.4.5 其他流量计

除上述的几类流量计外，还有利用相关技术测量流量的相关流量计及激光多普勒流量计等。

第二章 容积式流量计

容积式流量计是直接测量体积流量的流量计，用来测量不含固体杂质的液体、油、冷凝液等的体积流量，尤其是高粘度液体的体积流量。容积式流量计的种类很多，测量液体的有椭圆齿轮式、腰轮式、旋转活塞式、刮板式等；测量气体的有腰轮式、皮囊式、湿式气体计量表等。湿式气体计量表主要用来测量家用煤气或其他不溶于水的气体的体积流量总量。本章主要介绍几种常见的容积式流量计——椭圆齿轮流量计、腰轮流量计、刮板流量计。

2.1 椭圆齿轮流量计

椭圆齿轮流量计是一种测量液体总量（容积）的仪表。特别适合于测量粘度较大的纯净（无颗粒）液体的总量，如石油产品等。其主要优点是精度高，可达 $\pm(0.3\% \sim 0.5\%)$ ，但加工复杂、成本高，而且齿轮容易磨损。

椭圆齿轮流量计的工作原理如图 2-1 所示。它由金属壳体和一对相互啮合的椭圆齿轮组成，齿轮可绕各自的轴转动。当被测介质流入仪表时，推动齿轮旋转。由于两个齿轮所处的位置不同，分别起主动轮的作用。当被测介质自上向下流过时，由于有摩擦力存在，因此有压力损失，使进口流体压力 p_1 大于出口流体压力 p_2 ，椭圆齿轮在此压力差作用下产生力矩而转动。当在图 2-1 (a) 所示位置时，齿轮 I 在压差 $\Delta p = p_1 - p_2$ 的作用下对齿轮长轴产生的一个回转力矩使 I 轮作顺时针方向转动，而齿轮 II 因全力通过轴心，故合力矩为零。由于 I 轮作顺时针转动，把 I 轮和壳体间的半月形容积内的流体流至出口，并带动 II 轮转动；当这对齿轮转动到图 2-1 (b) 所示位置时，两个齿轮同时受到流体压力差的作用，I、II 轮都有转动力矩，继续转动；当转动到图 2-1 (c) 所示位置时，作用在 I 轮上的合力矩为零，而作用到 II 轮上的合力矩最大，使 II 轮作逆时针方向转动，把月牙形容积内的流体排至出口，并带动 I 轮转动。这样继续转动，当椭圆齿轮流量计转动一周时，就有四个半月形容积内的流体被排出去。

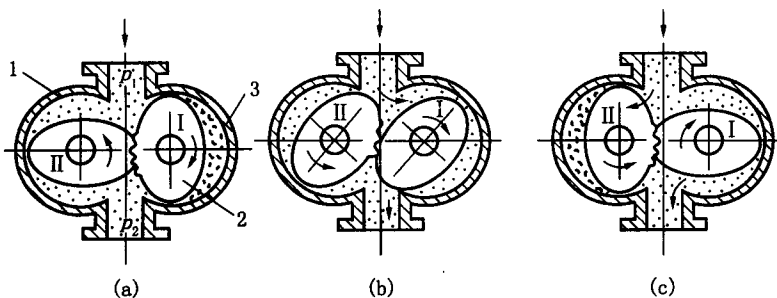


图 2-1 椭圆齿轮流量计原理图

1—外壳；2—椭圆形转子；3—计量室

当椭圆齿轮与壳体间的半月牙形容积 V 一定时，只要测出椭圆齿轮的转数 n ，便可知道被测流体的体积流量 q_v ，即

$$q_v = 4n \cdot V \quad (2-1)$$

式中 n ——椭圆齿轮的转数；
 V ——半月牙形的容积。

齿轮的转数是由转动轴带动的数轮（在壳外）给出，由于齿轮在一周内受力不均，其瞬时角速度也不均匀，所以利用该流量计直接求瞬时流量不精确，但在转轴上加入等速化齿轮机构，使后面输出等速脉冲，也可求得瞬时流量。

椭圆齿轮流量计，虽然齿轮的转数与流量大体上成正比，但在小流量范围内，从齿轮和壳体之间的间隙泄漏量相对于排出量是不小的，因而误差很大，所以用它测量小流量是不适合的。

椭圆齿轮流量计的精度直接取决于齿轮缘和壳体之间的泄漏量。这就要求间隙不能大、加工精度严格。同样可以理解，粘度越大，泄漏量越小，测量精度也就越高。

2.2 腰轮流量计

腰轮流量计又称为罗茨流量计，是容积式流量计中较典型的一种工业仪表。它用于连续或间断测量管道内流体的体积流量。腰轮流量计由腰轮流量传感器和表头两部分组成。对腰轮流量计一般都采用 45° 双腰轮组合式螺旋形腰轮，以期减少流量计的机械振动、噪声和流体压力波动。而表头则要完成表头指示、容差调整、温度、压力补偿、定量计量等任务。本体与表头的不同组合可满足各种用途的各种要求。

由于腰轮流量计精度高、再现性好、使用可靠且寿命长（一般 7~15 年），被测介质广泛，因而得到广泛应用和重视。它可用于测量气体和液体的体积流量。

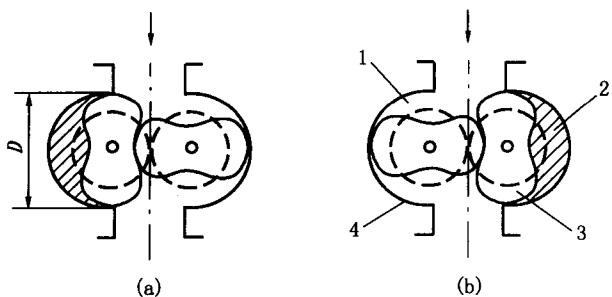


图 2-2 腰轮式流量计原理图

1—定位齿轮；2—计量室；3—腰轮；4—外廓；

D —腰轮的最大直径

腰轮流量计与椭圆齿轮流量计的原理相同，如图 2-2 (a)、(b) 所示。由于转子上无齿相互咬合，为避免滑动，在伸出壳外的轮轴上安装两个中心距与腰轮中心距相同的转动比为 1 的圆柱齿轮啮合，带动两腰轮旋转。

腰轮流量计是直接测量型计量仪表，属于一种自力式仪表。当流体在安装有腰轮流量计的管道内流动，流体的动压力推动流量计的腰轮转动，流体通过计量室随腰轮旋转而排出，流体流量与转速成正比，总量与累计转数成正比，因此，只要测出转速和转数，就能测出流量和总量。其数学表达式为

$$\frac{dv}{dt} = k \cdot D^2 \cdot L \cdot n \quad (2-2)$$

式中 $\frac{dv}{dt}$ ——流量计的体积流量， m^3/h 或 L/s ；

k ——腰轮外形为某一种曲线时，流量计的每转体积系数， $1/r$ ；

n ——转速， r/h ；

D ——腰轮的最大直径， m ；

L ——计量室的总高度， m 。

在实际应用中，输出体积流量还应加上泄漏量，其表达式为

$$\frac{dV}{dt} = k \cdot D^2 \cdot L \cdot n + \epsilon \quad (2-3)$$

式中 ϵ ——流量计在单位时间内的泄漏量， m^3/h 或 L/s 。

当流量计用于测量气体时，其表达式为

$$V_0 = \left(\frac{k_0}{k_1}\right) \cdot \left(\frac{p_1}{p_0}\right) \cdot \left(\frac{T_0}{T_1}\right) V_1 \quad (2-4)$$

式中 V_0 ——标准状态下气体体积， m^3 ；

k_0 ——标准状态下气体压缩系数；

k_1 ——工作状态下气体压缩系数；

p_0 ——标准大气压， Pa ；

p_1 ——工作状态下的绝对压力， Pa ；

T_0 ——标准状态下的绝对温度， K ；

T_1 ——工作状态下的绝对温度， K ；

V_1 ——工作状态下腰轮流量计计量体积， m^3 。

最后，通过表头中温度、压力自动补偿机构在计数器上显示出流量计标准状态下的累计体积。

腰轮流量计精度可达到 $\pm 0.1\%$ ，并可作标准表使用。

目前，我国还生产一种双曲接触面的腰轮流量计，性能更好一些。

2.3 刮板流量计

刮板流量计和上述两种流量计的原理相似，它有两种形式：一种是凸轮式刮板流量计；另一种是凹陷式刮板流量计，分别如图 2-3、图 2-4 所示。

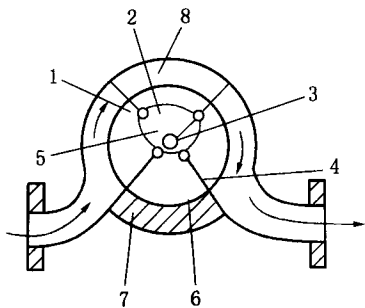


图 2-3 凸轮式刮板流量计原理图

1—空心转子（筒）；2—凸轮；3—转轴；
4—刮板；5—连杆；6—滚柱；7—外壳；

8—计量室

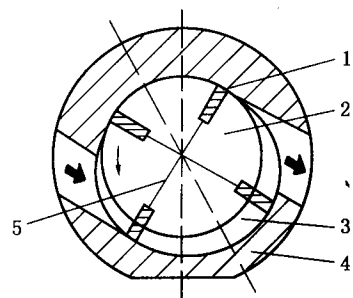


图 2-4 凹陷式刮板流量计原理图

1—刮板；2—空心转子；3—计量部分；
4—外壳；5—连杆

凸轮式刮板流量计的计量部分由转子、凸轮、轮轴、刮板、连杆、滚柱和外壳构成。外壳内腔是一个圆柱形空腔，转子为一空心薄壁圆筒。当内部放置两副刮板时（也可为三副），在圆周角上开有互成 90° 的四个槽，相对的一副刮板由连杆连接，刮板可在槽内滑动。两连杆互成 90° ，在空间交叉且互不相碰。刮板根部连接轴承即滚柱，在固定不动的凸轮上滚动。也有将连杆做成弹性的，刮板边缘用弹性胶作刮切面，称为弹性刮板流量计。此种流量计在原油计量上用得较多。

当被测介质从左向右流入流量计时，将推动刮板和转子旋转，与此同时刮板会沿着滑槽滑进滑出。两个相对刮板之间的距离是一定的，因此，当刮板连续转动时，在两个相邻刮板、转子、壳内壁及前后端盖之间形成一个固定容积的计量空间（即标准容积），转子每转一周就排出四个精确的计量空间的体积的流体。为了提高测量精度，必须设法减少刮板根梢两处的泄漏，因此，加工精度要高。

凹陷式刮板，其工作原理和凸轮式类似。相对的刮板之间仍用定长连杆连接，刮板的滑动是靠壳内壁凹陷控制的。

2.3.1 凸轮式刮板流量计的特点

- (1) 凸轮小，厚度也小，加工制造容易。
- (2) 壳体内壁呈圆形，工艺性好，易于加工，易做成大口径流量计。
- (3) 运转时刮板不接触壳体内壁，磨损小。
- (4) 结构复杂，加工量大。
- (5) 量程比小。

2.3.2 凹陷式刮板流量计的特点

- (1) 壳体内腔是非圆曲线，与凸轮式相比加工难度较大，不宜制成大口径刮板流量计。
- (2) 运转时刮板与壳体内壁接触，有磨损，而且压损也比凸轮式压损稍大。
- (3) 密封性好，泄漏量小，刮板磨损后可自动补偿，不影响计量精度。
- (4) 结构比较简单。
- (5) 通用性好，大口径组合式计量腔，零件通用性强。

由于刮板的特殊运动轨迹，使被测流体在通过流量计时，完全不受扰动，不产生漩涡，因此，精度可达 $\pm 0.2\%$ ，甚至达 $\pm 0.1\%$ 。压力损失也很小，在最大流量下可低于 $3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

上述几种流量计，都是作为计量流体流过的容积总量的计量表使用的，它们被广泛应用于石油化工工业中。

第三章 节流式差压流量计

节流式差压流量计也称为差压流量计，这种流量计是目前工业中测量气体、液体和蒸汽流量最常用的一种仪表。差压式流量计的主要组成有两大部分：一部分是节流式变换元件——节流装置，如孔板、喷嘴、文丘利管等；另一部分是用来测量节流元件前后静压差的差压计，根据压差和流量的对应关系，可直接指示流量。

3.1 节流装置

节流装置又称为差压装置，是差压式流量计的一次装置。它包括节流件、取压装置以及前后毗连的配管。当流体流经该装置时，将在该节流件的上、下游两侧产生与流量有确定关系的压力差（差压）。造成流体压力损失的主要原因是节流件前后涡流的形成以及流体的沿程摩擦，使得流体具有的总机械能的一部分不可逆地变成了热能，散失在流体内。图 3-1 所示为孔板节流装置前后流体的压力和速度分布。

3.1.1 节流件

节流件是节流装置中使流动横截面收缩以在上、下游两侧产生差压的元件。节流件的形式很多，典型的节流件有孔板、喷嘴和文丘利管，如图 3-2 所示。其中同心圆锐孔板、喷嘴和文丘利管等节流装置已标准化，称为标准节流装置，可以根据计算结果制造，不必用实验方法单独标定。有些场合使用其他节流件，由于缺乏足够的试验数据，还未标准化，一般称为特殊节流件，使用前一定要用实验方法单独标定。

3.1.2 取压方式

目前，对各种节流装置取压的方式均不相同，即取压孔在节流装置前后的位置不同，即使对同一位置上，为了达到压力均衡，也采用不同的方法。对标准节流装置，每种节流元件的取压方式有明确规定。

以孔板为例，目前国际上通常采用的取压方式有五种：角接取压法、理论取压法、径距取压法、法兰取压法和管接取压法，如图 3-3 所示。美国采用法兰取压法、理论取压法和径距取压法。欧洲国家多采用角接取压法，并将它规定为标准孔板的取压方式。

对于喷嘴，欧洲也采用角接取压法，美国采用径距取压和喉接取压。而对文丘利管和文丘利喷嘴的取压方式是特别规定的，各国采用的取压方法相同。下面对各种取压方法做一简单的介绍。

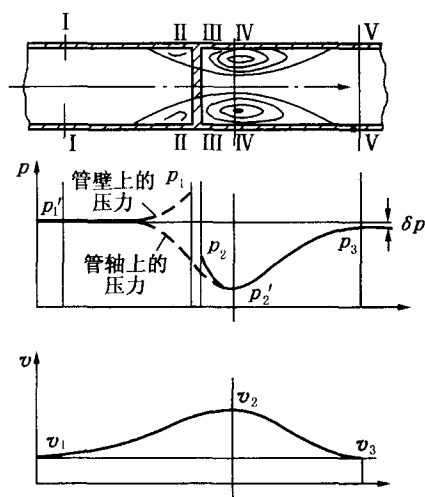


图 3-1 孔板前、后的压力、速度分布

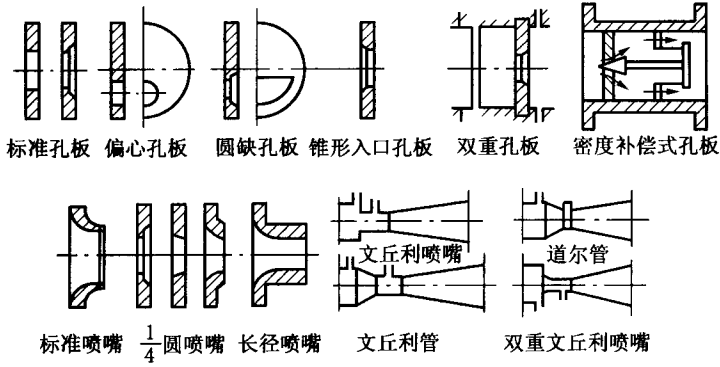


图 3-2 各种形式的节流件

1. 理论取压法

如图 3-3 中 III—III 所示，上游取压管的中心位于距离孔板前端面 1 倍管道直径 D 处，

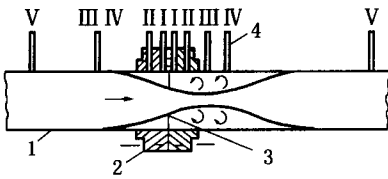


图 3-3 各种取压点的选择位置

1—管线；2—法兰；3—孔板；4—取压管
 (I—I：角接取压；II—II：法兰取压；
 III—III：理论取压；IV—IV：径距取压；
 V—V：管接取压)

下游取压管的中心位于流速最大的最小收缩断面处。通常最小收缩断面位置与面积比 m 有关，而且有时因为法兰很厚，取压管的中心不一定能准确的放置在该位置上，这就需要对差压流量随着流量计的示值进行修正。特别是孔板流束的最小断面位置也在变化，但取压点不变，因此在流量的整个测量范围内，流量系数不能保持恒定。另外，由于取压点远离孔板端面，难以实现环室取压，对测量的精度带来一定的影响。

通常这种取压方式仅应用于管道内径 $D > 100\text{mm}$

的情况，对于小直径管道，因为法兰的相对厚度较大，不宜采用。

2. 径距取压法

如图 3-3 中 IV—IV 所示，上游取压管的中心位于距离孔板（或喷嘴）前端一倍管道直径 D 处，下游取压管的中心距离孔板（或喷嘴）前端面 $D/2$ 处。和理论取压法的差别仅为下游固定点是固定的，当面积比 $m < 0.54$ 时，下游取压点近似位于流束的最小断面处，测量值和理论取压法相近； $m > 0.54$ 时，两者出现了差别。而且由于用径距取压法测量的差压值小，因此，精度不高。

3. 法兰取压法

如图 3-3 中 II—II 所示，不论管道的直径大小，上、下游的取压管中心均位于距离孔板两侧相应端面 25.4mm，即 1in 处。

目前，美国广泛应用这种取压分离方法，在我国，对管径较大时，也采用此法。

4. 管接管取压法（损失压降法）

如图 3-3 中 V—V 所示，上游取压管中心位于孔板前端面 $2.5D$ 的上游处，下游取压管中心位于距孔板后端面 $8D$ 处。这种取压方式测得的压差值，即为介质流经孔板的压力损失值，因此，也称为损失压降法。

这种方法存在很多缺点，即在同样流量下测得的压差值比其他方法小得多，因此，测量精度受到影响。另外，取压管中间一段长管的摩擦损失也被包括在内，这部分损失与管壁的粗糙度有关，伴随时间的推移，管壁的粗糙度也不断改变，在其他条件不变的情况下，压差

值也会不断改变，因而流量系数不恒定。

过去，由于压差计上限的限制，这种方法主要用于气（蒸汽）的大流量测量。近来，由于差压计上限的不断提高，此法已不实用。

5. 角接取压法

如图 3-3 中 I—I 所示，上、下游的取压管位于孔板（喷嘴）前后端面处。欧洲的一些国家广泛采用此法，并规定为标准节流装置的取压方式。我国也广泛应用该取压法，并规定为标准节流装置两种取压方式之一（此外，法兰取压也被采用）。

角接取压法的主要优点是：

(1) 易于采用取压环室，使压力均衡，从而提高了差压的测量精度。同时，可以缩短前后安装的直管段。

(2) 当实际雷诺数大于界限雷诺数时，流量系数只和面积比 m 有关。对于一定 m 的节流装置，流量系数恒定，流量和压差间存在确定的对应关系。

(3) 由于管壁粗糙度逐渐改变而产生的摩擦损失变化的影响最小。

角接取压的主要缺点是：取压点位于压力分布曲线最陡峭的部分，因此，取压点的安装不精确，对精度影响大，而且取压管的脏污和堵塞不易排除。

3.1.3 标准节流装置

标准节流装置包括三部分：

(1) 节流元件：孔板、喷嘴等。

(2) 取压装置：角接取压环室，单独钻孔取压的夹紧环，法兰取压用的带取压孔的法兰等。

(3) 节流装置前后的直管段：节流件前有 10 倍管径长，节流件后有 5 倍管径长的直管段。

角接取压和法兰取压的取压装置结构如图 3-4 所示。我国的标准节流装置及取压方式如表 3-1 所示。

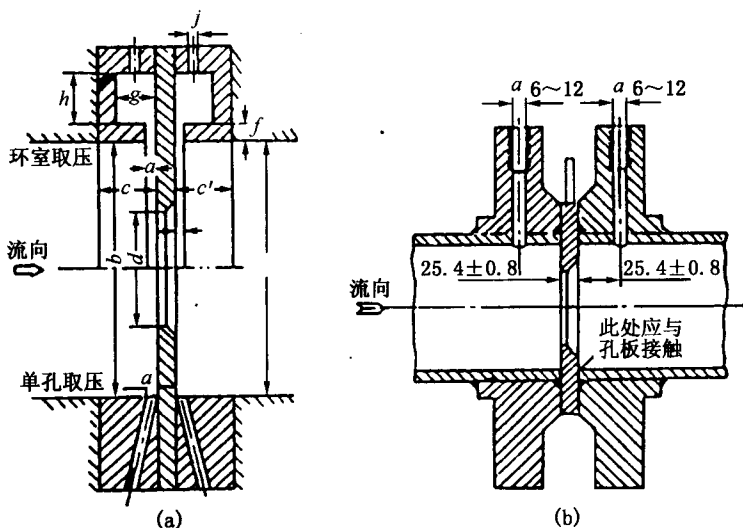


图 3-4 取压装置的结构

(a) 角接取压的取压装置；(b) 法兰取压的取压装置

a —单独钻孔孔径和环形缝隙的宽度； f —环室壁厚； g —环室腔宽度； h —环室腔高度； b —环室内径；

d —管道内径； j —导压管连接孔径； c —上游环室宽度； c' —下游环室宽度