

工业自动化仪表丛书

4



流量测量仪表

杨根生 林辉渝 编

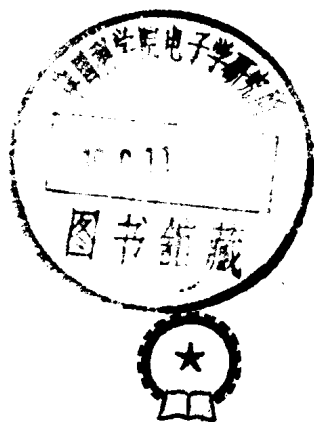
机械工业出版社

79.54
661

工业自动化仪表丛书

流量测量仪表

杨根生 林辉渝 编



机械工业出版社

8610913

本书为《工业自动化仪表丛书》之一。全书比较通俗地介绍了各种常用的流量仪表的原理、结构、性能、特点、校验方法以及使用和维护等方面的知识。还论述了管流基础知识、新的流量测量技术和新型流量仪表、典型的流量调节控制系统以及校验装置。

本书可以供从事工业自动化仪表工作的工程技术人员阅读，也可以供有关学校的师生参考。

D576/37
26

工业自动化仪表丛书 4
流 量 测 量 仪 表
杨 根 生 · 林 辉 渝 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张17¹/₄·插页1·字数384千字

1986年9月重庆第一版·1986年9月重庆第一次印刷

印数 0.001—6,000·定价 3.65 元

*

统一书号: 15033·5736

5120132

前 言

工业自动化仪表是实现工业生产过程自动化的一种重要装置。通过工业自动化仪表来了解生产过程中的物质变化状态，并将生产过程控制在预定的条件之下，确保生产的优质、高效和安全。

随着我国社会主义建设的发展，工业自动化仪表已日益广泛地应用于冶金、电力、化工、石油、轻纺、机械等工业部门，其发展前途是十分广阔的。

为了适应工业自动化仪表迅速发展的需要，进一步做好技术交流与推广工作，我们组织编写了这套《工业自动化仪表丛书》。

本丛书预定为二十册，分别为：《工业自动化仪表》、《温度测量仪表》、《压力测量仪表》、《流量测量仪表》、《物位测量仪表》、《机械量测量仪表》、《核辐射式检测仪表》、《自动平衡显示仪表》、《动圈指示调节仪表》、《自动调节仪表》、《电动单元组合仪表》、《气动单元组合仪表》、《射流技术及其应用》、《工业控制计算机》、《电动执行器》、《气动执行器》、《工业程序控制装置》、《工业仪表防护》、《工业仪表应用》和《工业仪表维修》等。将陆续分册出版。

本丛书力求以深入浅出、通俗易懂的文字，辅以图表的形式，简要介绍各类工业自动化仪表的结构原理、性能特点、安装使用以及维修等知识，供同志们参考。但由于我们水平

有限，书中一定存在不少缺点，甚至错误，欢迎同志们批评指正。

本丛书在编写过程中，曾得到有关工厂、大专院校、科研单位的大力支持，在此谨致谢意。

《工业自动化仪表丛书》编写组

目 录

前言

第一章 结论	1
一、流量仪表的发展过程	3
二、流量测量在国民经济中的重要性	4
三、流量仪表的分类	5
四、流量仪表性能	6
五、流量仪表的主要技术参数和管道的常用流速	6
六、流量仪表的选用	13
七、流量仪表的发展趋向	24
第二章 管流基础知识	26
一、流体及其物理性质	26
二、管流的几种类型	38
三、圆管中流体的速度分布	41
四、连续性方程式和能量方程式	44
五、相似理论	50
第三章 差压流量计	57
一、差压流量计的原理和基本方程式	57
二、流量测量用标准节流装置	62
三、非标准节流装置和特殊差压流量测量装置	139
四、节流件的设计计算程序和计算例题	153
五、差压计	179
六、节流装置的安装要求和差压信号管路	214
第四章 靶式流量计	227
一、原理	228

二、结构	233
三、特性及其影响因素	246
四、设计计算	249
五、挂重(干)校验	255
六、安装、使用与维护	258
第五章 转子流量计	264
一、测量原理和流量基本方程式	264
二、玻璃管转子流量计	269
三、指示型金属管转子流量计	275
四、气远传金属管转子流量计	284
五、电远传金属管转子流量计	292
六、转子流量计的刻度换算	301
七、转子流量计的安装	310
第六章 容积式计量表	313
一、椭圆齿轮式计量表	313
二、腰轮式计量表	317
三、其它容积式计量表	320
四、特性	324
五、误差调整	328
六、安装、使用和维护	330
第七章 涡轮流量计	334
一、原理	334
二、结构	338
三、特性	344
四、叶轮结构参数	347
五、安装、使用和维护	349
第八章 电磁流量计	358
一、原理	359
二、结构	363

五、专用和新型的电磁流量计	376
四、安装、使用和维护	378
第九章 漩涡流量计	384
一、旋进漩涡流量计	384
二、涡列流量计	394
第十章 热式流量计	403
一、热线风速计	404
二、热量流量计	406
第十一章 超声波流量计	414
一、原理和结构	416
二、新型超声流量计	431
第十二章 质量流量计	435
一、基本方程式	435
二、原理和结构	436
第十三章 流量测量新技术和新型流量仪表	465
一、电容式和电导率式流量计	465
二、相关技术测量流量	466
三、激光多普勒流速计	469
四、核磁共振流量计	471
五、射流流量计	473
六、冲量式流量计	475
第十四章 流量测量、调节和控制系统	478
一、流量指示系统	478
二、流量积算系统	478
三、流量记录系统	479
四、流量记录调节系统	480
五、流量比值调节系统	480
六、流量随动调节系统	481
七、定量装车（船）控制系统	482

八、温度、压力补偿的调节系统	483
九、应用计算机的比值调节系统	484
第十五章 流量仪表的校验和流量校验装置	485
一、流量仪表的校验	485
二、流量校验装置	488
附录	498
一、气体性质	499
二、节流件和管道常用材质的线膨胀系数	500
三、干空气密度	502
四、常用气体的压缩系数 Z	504
五、角接取压标准孔板速算图	508
六、角接取压标准喷嘴速算图	512
七、气体压缩系数与对比参数关系图	516
八、气体的等熵指数	522
九、气体的粘度	523
十、饱和气体的水分含量	525
十一、液体性质	527
十二、水的密度	528
十三、水银的密度	530
十四、在饱和线上的水和水蒸汽的粘度	531
十五、饱和水蒸汽	532
十六、水蒸汽的密度	535

第一章 绪 论

流量是工业生产过程中一个十分重要的参数。流量测量和控制是工业自动控制系统中的重要环节之一，因此，流量仪表为各工业部门提高产品质量和降低生产成本所必需。随着工业自动化水平的不断提高，流量测量和控制已由原先的保证稳定运行朝着最佳化控制过渡。这样，流量仪表更成了不可缺少的检测仪表之一。

流量是指每单位时间内流经有效截面的流体数量。该数量可以用体积、重量和质量来表示，分别称为体积流量、重量流量和质量流量，相应采用的单位有 m^3/h 、 kgf/h 和 kg/h 等。

总量是指某一段时间间隔内流经有效截面的流体数量之总和。该总和可以用体积、重量和质量来表示，随其应采用的单位有 m^3 、 kgf 和 kg 等。

流量计是指测量流体流量的仪表。它能指示和记录某瞬时流体的流量值。

计量表（总量计）是指测量流体总量的仪表。它能累积某段时间间隔内流体的总量值。

按流量的定义，可知流量是体积（重量、质量）与时间的导出量，可用下列数学式表示：

$$Q = \frac{dv}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

8610913

$$G = \frac{dw}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad (1-1)$$

$$M = \frac{dm}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

式中 Q 、 G 、 M ——分别为体积流量、重量流量和质量流量

Δv 、 Δw 、 Δm ——分别为瞬时流经有效截面的微量体积、重量和质量

Δt ——瞬时时间间隔

在工业流程中，绝大部分属于缓变流（指流量变化极其缓慢）或稳定流（指流量是稳定的）。在缓变流或稳定流中，在时间 t 内流经有效截面的流体平均流量为：

$$\bar{Q} = \frac{v}{t}$$

$$\bar{G} = \frac{w}{t} \quad (1-2)$$

$$\bar{M} = \frac{m}{t}$$

式中 $\bar{Q}$ 、 $\bar{G}$ 、 $\bar{M}$ ——分别为平均体积流量、平均重量流量和平均质量流量

v 、 w 、 m ——分别为时间 t 内流经有效截面的流体体积、重量和质量

t ——某段时间间隔

流量计通常用于工艺流程的操作和控制，以便随时监视流过的瞬时流量。

按总量的定义，可用数学式表示为：

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

2010-11-17

式中 W ——流体总量

Q ——流体瞬时流量

dt ——微小的时间间隔

计量表通常用于精确计量，亦可作为经济核算的依据。

一、流量仪表的发展过程

解放以来，我国的流量测量和仪表行业取得了可喜的成绩：测量原理有所发展；测量技术有所突破；系列品种有所扩大；产品质量有所提高。

在1960年以前，我国的流量仪表行业只能生产比较陈旧落后的仿苏产品，如结构笨重的水银浮子差压计和环秤差压计，误差较大的玻璃转子流量计等。此外，还有结构极不统一的所谓“万国牌”水表。当时有限的几种流量仪表，都是品种规格不齐、精度低、性能差、设计与工艺都比较落后，满足不了各工业部门生产发展的需要。

1960年以后，总结了流量仪表的发展历史和吸取了国外的先进科学技术，逐步开展了流量仪表系列产品的统一设计工作和新产品的研制工作。经过流量仪表行业广大职工的努力，终于淘汰了笨重落后的仿苏产品；扔掉了“万国牌”水表的帽子；编写了我国的“流量测量节流装置设计计算手册”；成套生产了九大类差压和流量仪表的系列产品；填补了高精度、大口径油品计量仪表的成套装置以及大口径涡轮流量计和电磁流量计的空白；开展了新检测技术的研究和应用，试制成功了具有当代水平的漩涡流量计和激光流速计等新产品。目前，我国流量仪表的产品产量正在不断增加，质量正在不断提高，新品种正在不断发展，劳动生产率也在不断上升，以适应农业、工业、国防和科学技术现代化发展

的需要。

二、流量测量在国民经济中的重要性

流量测量和控制问题，在现代工业生产流程中，在科学研究试验中都十分重要。流量测量问题在国民经济各部门中是经常遇到的，流量仪表的使用也是十分广泛的。

在石油工业部门中，油品的配比调和（混合）、成品油的精确计量、原油和天然气的远距离输送和计量、油品的定量装车和装船、油品的贮存以及原油的对外贸易等方面，都需要进行流量计量。

在化学工业部门中，各种化学反应过程（混合、稀释、聚合和分离等）都必须严格按照各种物质间的一定比例来进行的，所以在化工工艺流程中的流量测量更显重要。

在冶金工业部门中，纯氧顶吹炼钢的耗氧量计量和控制，可以确保钢的质量及降低氧气的消耗；控制炼铁炉的煤气和空气的配比和加热炉炉温控制等方面也离不开流量测量。

在电力工业部门中，锅炉和汽轮机在正常运行时的煤耗和汽耗的分析、锅炉和汽轮机效率的计算等方面也少不了流量测量。

在轻工食品工业部门中，食品原液、油脂、纸浆等生产过程中，也必须对流量进行测量。

即使在日常生活中，人们所常见的自来水与煤气的流量测量就更为大家所熟知了。

综上所述，可见流量测量的广泛性和重要性。当流量仪表与显示仪表、调节仪表、执行器及计算机配套使用，便能实现流量的指示、记录、积算、调节和控制。

三、流量仪表的分类

流量仪表在国民经济各部门中应用甚广，使用对象和测量介质甚多，使用要求又各不相同，因此，流量测量方法的理论基础，都建立在不同的物理原理、规律上。如应用流体力学中的一些原理，可以制成差压流量计、靶式流量计、转子流量计、漩涡流量计、测速管流量计和堰等；应用流体能转换成机械能再转换成电能而制成涡轮流量计；应用电磁定律可制成电磁流量计；应用光学原理而制成激光测速计；应用超声原理而制成超声波流量计；应用热学原理而制成热式流量计；应用核辐射和核磁共振原理而制成核辐射流量计和核磁共振流量计；应用动量原理而制成质量流量计；应用冲量原理而制成固体粉料流量计。应用相关原理而制成相关流量计；应用射流原理而制成射流流量计等等。真可谓品种繁多。那末，对那么多品种的流量仪表究竟怎么分类呢？至今国内外还没有一个统一的分类方法。目前，根据我国流量仪表的命名方式及生产情况，一般主要按照测量方法（检测技术）加以分类，对其它的分类法也作一简单介绍。

（一）按测量方法分类 一般分为差压流量计、靶式流量计、转子流量计、容积式计量表、速度式计量表、电磁流量计、漩涡流量计、超声波流量计、量热式流量计、质量流量计以及其它流量计。

（二）按用途分类 一般分为指示、记录、积算、远传、调节等类型。

（三）按测量要求分类 一般分为微流量测量、小流量测量、大流量测量、脉动流（瞬变流）测量、多相流测量、双向流测量、高温高压介质流量测量、强腐蚀性介质流量测量、

高粘度介质流量测量、低温及超低温介质流量测量仪表等。

四、流量仪表性能

常用流量仪表主要技术性能，见表1-1所列。

五、流量仪表的主要技术参数和管道的常用流速

(一) 主要技术参数

1. 公称口径

公称口径是指进入管道的公称通径，一般以毫米作单位来表示。公称口径系列为：1.5、4、6、10、15、(20)[⊖]、25、(32)、40、50、(65)、80、100、(125)、150、200、250、300、400、500等。

2. 测量范围和量程比

测量范围是指仪表在一定的基本误差内，最小（下限）流量至最大（上限）流量的范围。

量程比是指仪表在一定的基本误差内，最大流量与最小流量的比值。

3. 特性流量

特性流量是指在定常流和压力损失为10米水柱时，每小时流经仪表的流量。它是一个假定值，可用来评定水表性能。

4. 压力损失

压力损失一般是指在最大流量时，流过仪表之后总的压力能源的损耗。它应该在仪表两端所规定的 一定距离处测得，作为衡量采用该仪表是否经济的一项重要指标。凡压力

⊖ 括号内的公称口径一般不推荐采用。

损失愈小，则压力能源损耗愈少，就愈经济。

5. 基本误差

基本误差是指仪表在规定的参比工作条件下确定的误差（参见图1-1）。

流量仪表的基本误差，通常有下述两种表示方式。一种是用示值误差和测量值之比值的百分数来表示的，其基本误差

$$\delta_o = \frac{\Delta_1}{C} \times 100\%$$

$$\delta_B = \frac{\Delta_2}{B} \times 100\%$$

这种表示方法为速度式计量表及容积式计量表所常用。

另一种是用示值误差和满量程示值之比值的百分数来表示的，其基本误差

$$\delta_o = \frac{\Delta_1}{A} \times 100\%$$

$$\delta_B = \frac{\Delta_2}{A} \times 100\%$$

这种表示方法为差压流量计和转子流量计所常用。

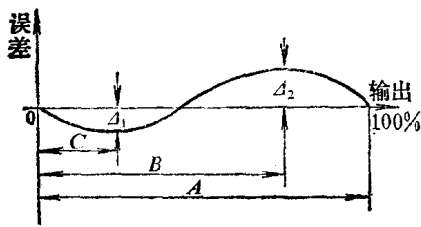


图1-1 基本误差

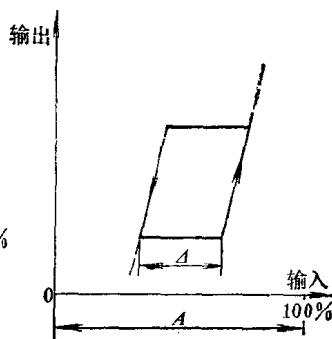


图1-2 死区

6. 死区

死区是指不能引起输出响应变化的输入范围。如图 1-2

表 1-1 流量仪

类 别		差 压 流 量 计						转 子 流 量 计						
		孔 板		喷 嘴		文丘利管		玻 璃 管		金属管				
技 术 性 能	原 理	伯 努 利 方 程						定压降可变环形面积原理						
	公 式	$Q=K\sqrt{\Delta p}$						$Q=Kh$						
	口径mm	50~1000		50~500		100~1200		4~100		15~150				
	被测介质	液	气	蒸	液	气	蒸	液	气	液	气			
	测量范围 m ³ /h	1.5 ~ 9000	16 ~ 10 ⁵	—	5 ~ 2500	50 ~ 26000	—	30 ~ 1800	240 ~ 18000	—	0.001 ~ 40	0.016 ~ 10 ³	0.012 ~ 10 ²	0.4 ~ 3000
	量程比	3:1						10:1						
	最低雷诺 数或粘度 界限 cSt	大 于 5×10 ³ ~ 8×10 ³		大 于 2×10 ⁴		大 于 8×10 ⁴		大于 10 ⁴		大于 10 ²				
	工作压力 kgf/cm ²	200		200		25		16		64				
	工作温度 ℃	500						120		150				
	压力损失 mmH ₂ O	小于 2000	小于 2000	小于 2000	小于 2000	小于 500	小于 500	10~700		300~600				
精 度 %	±1~2						±1~2.5		± 2					
安 装 和 成 套	需 要 直 管 段						必须垂直安装							
体 积 重 量	小		中		重		轻		中					
成 本	低		较低		中		低		中					
寿 命	中		长		长		中		长					
输 出 与 显 示	模 拟 量						直接指示		模拟量					

注 1.表内液体流量测量范围以 20℃ 时水计算。2.表内气体流量测量范围流量计的测量范围及压力损失,以液体压差 2500 mmH₂O, 气体压差

计的压 力 损 失 为 $11\frac{v^2\rho}{2g}$, 其中 v 为收缩口处流速值。