

力学计量测试丛书

流量计量 (上)

LIULIANG JILIANG

徐英华 主编

王自和 主审



中国质检出版社
中国标准出版社

力学计量测试丛书

流 量 计 量

(上)

徐英华 主编
王自和 主审

中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

流量计量. 上/徐英华主编. —北京: 中国质检出版社, 2012
ISBN 978-7-5026-3532-9

I. ①流… II. ①徐… III. ①流量计量 IV. ①TB937

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 244346 号

内 容 提 要

本书分为上、下两册。上册主要讲述流量计量基础知识, 各种类型的流量测量仪表的原理、结构、检定与维护等知识。下册主要讲述水表、热能表的工作原理、检测及维修以及各种流量计量标准装置的测量原理、结构特点和检测方法等内容。

本书适合流量计量技术人员使用和阅读, 亦可作为相关计量人员的培训教材。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 64275323 发行中心: (010) 51780235

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 13.75 字数 362 千字

2012 年 12 月第一版 2012 年 12 月第一次印刷

*

定价 39.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

丛 书 编 委 会

主	编	张 跃	刘国普	
编	委	张 跃	刘国普	王 虹
		李宗英	王均国	刘子勇
		张 琰	何 力	柳建明
		李占宏	徐 殷	沈效宏
		于旭光	周 彪	徐英华
选 题 策 划		王 虹		
版 式 设 计		李宗英		

本书编委会

主 编 徐英华

主 审 王自和

编 委 (按姓氏笔画排列)

卜占成	丁月臣	王自和	王东伟
王韞涛	韦 晨	孙定浩	朴奇焕
李东军	李永杰	李 然	刘彦军
孟 涛	应为忠	沈文新	陈 梅
张 涛	张立谦	杨有涛	周国栋
郭爱华	柳霞芬	徐英华	程 佳
詹志杰			

总

序

计量是实现单位统一、量值准确可靠的活动。计量在经济建设和科技发展中起到举足轻重的作用。计量已渗透到各行各业，成为经济社会有序活动和可持续发展的必要条件。

20 世纪 80 年代，中国计量出版社曾出版了一套《力学计量测试丛书》，该丛书因其实用性强而受到广大读者一致好评。随着新技术的发展，原书很多内容已陈旧。为了满足广大从事力学计量工作人员的需求，由原中国计量出版社和中国计量科学研究院力学所组织力学计量领域的专家重新编写了《力学计量测试丛书》，并将陆续出版。

本套丛书内容包括衡器、密度计量、硬度计量、天平砝码、流量计量、容量计量、振动计量、力值计量等。

本套丛书专业理论体系完整，且可操作性强，介绍有关力学计量基本原理、定义、公式，对测量方法和典型仪器做了重点介绍。除此以外，还对技术的发展趋势、国内外的现状做了简要介绍。希望它能对提高广大力学计量工作人员的理论和技术水平有所帮助。

丛书编委会

2012 年 10 月

前

言

随着社会的发展和科学的进步，我国政府提出了以科学发展观建设“资源节约型、环境友好型”社会的指导方针。节约能源已成为重要国策之一，能源计量已涉及社会的各个领域，在国防、科研、工农业生产等方面能源不仅成为重要的信息源头，并且在管理上也是效益考核、节能、环保科学评价的重要依据。

流量计量是能源计量的重要组成部分，流量计量工作与国民经济发展息息相关。小到千家万户老百姓的家居生活，比如，各家各户用的水表、家用燃气表，热能表的准确计量；大到国际贸易双方的经济利益，比如，油品的准确计量等都属于流量计量范畴。目前，由于世界能源的日趋紧张，原油价格不断攀升，原油已不仅仅是人们生活的必需品，更成为各个国家必备的战略物资。石油及其相关产品的储备与开发是各国经济发展的重中之重，关系到国家经济和政治的安全，因此，流量计量的准确性和可靠性已成为大家关注的焦点。

本书分为上、下册。上册主要介绍流量计量基础知识，各种类型的流量测量仪表的原理、结构、检定与维护等知识；下册主要介绍水表、热能表的工作原理、检测及维修以及各种流量计量标准装置的测量原理结构和检测方法。本书较为系统、全面、实用，可作为从事流量计量专业的工程人员、计量检测人员和厂矿

企业相关技术人员的培训教材，阅读和使用的参考资料。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者多提宝贵意见。

编 者

2012 年 11 月

目

录

CONTENTS

(上册)

绪论 流量计量基础知识 /1

第一章 涡轮流量计 /28

第一节 概述 /28

第二节 涡轮流量计的种类和结构型式 /28

第三节 涡轮流量传感器的结构特性和测量原理 /33

第四节 涡轮流量计的数学模型及流量方程 /40

第五节 涡轮流量计的检定 /49

第二章 涡街流量计 /58

第一节 测量原理和结构型式 /58

第二节 涡街流量计特性分析及选型 /70

第三节 涡街流量计安装和使用 /75

第四节 涡街流量计的检定 /79

第三章 超声流量计 /90

第一节 概述 /90

第二节 时差法超声流量计 /98

第三节 多普勒超声流量计 /106

第四节 超声明渠(非满管、暗渠)流量计 /111

第五节 超声气体流量计 /115

第六节 超声流量计选型与应用 /119

第七节 超声流量计的检定 /121

第八节 现场检定特殊要求 /130

第九节 使用中的检验 /131

第四章 电磁流量计 /137

第一节 概述 /137

第二节 测量原理 /138

第三节 结构组成及功能 /145

第四节 电磁流量计的检定 /152

第五节 常见故障及维护 /167

第五章 容积式流量计 /169

第一节 概述 /169

第二节 各类容积式流量计的介绍 /169

第三节 膜式燃气表的检定 /204

第四节 气体容积式流量计的检定 /212

第五节 液体容积式流量计的检定 /220

第六章 差压流量计 /230

第一节 概述 /230

第二节 差压流量计的工作原理 /231

第三节 标准节流装置的结构型式和技术要求 /233

第四节 标准节流装置的直管段要求 /253

第五节 非标准节流装置 /262

第六节 各种差压流量计的性能比较 /274

第七节 差压流量计设计和定制 /277

第八节 差压流量计的维护 /279

第七章 临界流流量计 /288

第一节 概述 /288

第二节 结构形式 /289

第三节 测量原理 /292

第四节 临界流文丘里喷嘴的理想流量公式 /296

第五节 临界流文丘里喷嘴的实际流量公式 /300

第六节	参数修正	/307
第七节	临界压力比和最大允许背压比	/313
第八节	安装要求	/320
第九节	检定	/325
第八章	浮子流量计	/333
第一节	概述	/333
第二节	测量原理和流量方程式	/334
第三节	浮子流量计的结构型式	/337
第四节	浮子流量计的刻度换算和量程换算	/341
第五节	浮子流量计的特性及选型	/348
第六节	浮子流量计的安装和使用	/351
第七节	浮子流量计的检定	/354
第九章	质量流量计	/366
第一节	概述	/366
第二节	量热式质量流量计及质量流量控制器	/367
第三节	热功耗式气体质量流量计	/382
第四节	科里奥利力式质量流量计	/399
第五节	科里奥利力式质量流量计的检定	/415
	参考文献	/423

绪论

流量计量基础知识

一、流量计量名词术语

1. 流量

流体流过一定截面的量称为流量，流量是瞬时流量和累积流量的统称。在一段时间 t 内流体流过一定截面的量称为累积流量，也称总量，用 Q 表示。当时间 t 很短时，流量与时间之比称为瞬时流量，用 q 表示，即：

$$q = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{Q}{t} \quad (\text{绪-1})$$

瞬时流量分为瞬时体积流量 q_v （单位为 m^3/h ）及瞬时质量流量 q_m （单位为 kg/h ）。当流量用体积表示时称为体积流量，用 Q_v 表示，单位为 m^3 。用质量表示时称为质量流量，用 Q_m 表示，单位为 kg 。质量流量与体积流量之间存在如下关系：

$$\begin{aligned} Q_m &= Q_v \cdot \rho \\ q_m &= q_v \cdot \rho \end{aligned} \quad (\text{绪-2})$$

2. 最大流量

满足计量性能要求的最大流量。

3. 最小流量

满足计量性能要求的最小流量。

4. 流量范围

由最大流量和最小流量所限定的范围，在该范围内应该满足计量性能的要求。

5. 分界流量

在最大流量和最小流量之间的流量值，它将流量范围分割成

两个区，即“高区”和“低区”。

6. 公称流量

在公称流量下，流量计应能在连续运行和间断运行时满足计量性能的要求。

7. 满刻度流量

对应于最大输出信号的流量。

8. 流出系数

对于不可压缩流体来讲，流出系数一般定义为实际流量与理想流量的比值。对于临界流喷嘴来讲，流出系数是实际流量对无粘度气体理想流量的无量纲比值，该理想流量是在相同的上游滞止条件下按一维等熵流动而得到的。该系数是对粘性和流场曲率影响方面的修正。对于标准或规程中所规定的各种喷嘴结构和安装条件，它仅是喉部雷诺数的函数。

9. 流量系数

在某些流量计，比如节流式流量计的流量方程式中，流出系数 C 和流量系数 α 之间有以下关系：

$$\alpha = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (\text{绪-3})$$

式中： β ——节流件直径比， $(\beta = \frac{d}{D})$ ；

d ——节流件孔径，m；

D ——管道内径，m。

10. 喉部

喷嘴中直径最小的部位。

11. 气体静压

用连接在管壁取压口上的压力表所测量到的流动气体的实际压力。在此为绝对静压值。

12. 滞止压力

流动气体以等熵过程达到静止状态时所存在的气体压力。在

此为绝对滞止压力值。

13. 静态温度

流动气体的实际温度。在此为绝对静态温度值。

14. 滞止温度

流动气体以等熵过程达到静止状态时所存在的气体温度。在此为绝对滞止温度值。

15. 背压比

喷嘴出口静态压力与喷嘴上游滞止压力之比。

16. 临界压力比

通过喷嘴的气体流量达到最大值时，喷嘴喉部处静态压力与上游滞止压力之比。

17. 临界流

达到临界压力比时，流过喷嘴的气体质量流量达到最大，气体在喉部达到当地音速，此时的流动称为临界流。进一步降低背压比，通过喷嘴的流量将保持不变。

18. (实际气体的) 临界流函数 C_*

表征文丘里喷嘴的入口与喉部之间等熵和一维流动的热力学流动性质的无量纲函数。它是气体特性和滞止条件的函数。

19. 实际气体临界流系数

临界流函数的另一种形式，对气体混合物更为适用。它与临界流函数的关系为

$$C_R = C_* \sqrt{z} \quad (\text{绪}-4)$$

式中： z ——气体压缩系数。

20. 临界质量通量

对于在理想条件下的质量流量，临界质量通量等于 $\frac{q_{mi}}{A_*}$ ，对于实际气体的质量流量，临界质量通量为

$$\phi_m = \frac{q_m}{A_* C_d} \quad (\text{绪}-5)$$

临界质量通量的物理意义是：在一维、等熵流（或者说理想流动）的假定条件下和在临界流条件下，气体流过文丘里喷嘴喉部单位面积的质量流量。

21. 临界流文丘里喷嘴

喉部能够达到当地音速的具有扩散段的喷嘴。

22. 喉部雷诺数 throat Reynolds number

以喉部直径作为特性尺寸，使用喷嘴入口滞止条件下的气体动力粘度计算得到的无量纲参数。

注：它由下式确定：

$$Re_{nt} = \frac{4q_m}{\pi d \mu_0}$$

式中： q_m ——通过喷嘴气体的流量；

d ——喷嘴喉径；

μ_0 ——滞止条件下的气体动力粘度。

23. 临界点

流体在某饱和温度下，对应于一定的饱和压力，在饱和状态下，温度、压力不变，但密度会从气相密度变到液相密度。这种变化在 $p-\rho$ 图上，有一段距离。随着饱和温度的变化，这段距离逐渐趋于一个点，这个点就叫做临界点。临界点的压力、温度、密度分别叫做临界压力、临界温度、临界密度。在临界点上，气相和液相没有明显的区别。

不要把临界点与临界流混淆起来，前者是气体本身的性质，后者是流动性质。比如 p_* 是文丘里喷嘴喉部流动达到临界（音速）时的喉部压力，它不是临界压力。

二、常用的物性参数和各种状态下的参数关系

（一）流体的密度

流体的密度，它表征单位体积内流体的质量，用符号 ρ 表示。当认为流体是均匀的介质，则它可以用下式来表示：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{绪-6})$$

式中： ρ ——流体密度， kg/m^3 ；

m ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

1. 液体的密度

压力不变时，液体密度计算式：

$$\rho = \rho_{20} [1 - \alpha(t - 20)] \quad (\text{绪-7})$$

式中： ρ ——温度 $t^\circ\text{C}$ 时液体的密度， kg/m^3 ；

ρ_{20} —— 20°C 时液体的密度， kg/m^3 ；

α ——液体的体积膨胀系数， $1/^\circ\text{C}$ 。

温度不变时，液体密度计算式：

$$\rho_1 = \rho_0 [1 - \beta(p_0 - p_1)] \quad (\text{绪-8})$$

式中： ρ_1 ——压力 p_1 时液体的密度， kg/m^3 ；

ρ_0 ——压力 p_0 时液体的密度， kg/m^3 ；

β ——液体的体积压缩系数， MPa^{-1} 。

流体的密度都随着流体的状态变化。通常压力的变化对液体密度的影响很小。在 5MPa 以下可以忽略不计。比如，在 20°C 下，空气压力由 100kPa 升到 200kPa ，其密度增加 100% ，而在同样情况下水的密度只增加 0.01% 。所以在水流量计量中，可将水视为不可压缩流体。但是对于碳氢化合物（如原油的计量），压力对密度的影响，即使在较低的压力下也应考虑压力修正。

2. 气体的密度

气体的密度可由气体状态方程中压力、温度与比体积（密度的倒数）的关系给出。

(1) 干气体的密度计算式

$$\rho = \rho_n \frac{p}{p_n} \frac{T_n}{T} \frac{z_n}{z} \quad (\text{绪}-9)$$

式中： ρ 、 ρ_n ——分别为工作状态和标准状态（293.15、101.325kPa）下干气体密度， kg/m^3 ；

p 、 p_n ——分别为工作状态和标准状态下的绝对压力，Pa；

T 、 T_n ——分别为工作状态和标准状态下的热力学温度，K；

z 、 z_n ——分别为工作状态和标准状态下的气体压缩系数，Pa。

(2) 湿气体的密度计算式

1) 采用相对湿度参数时工作状态下湿气体的密度计算式

$$\rho = \rho_n \frac{p - \varphi p_{S\max}}{p_n} \frac{T_n}{T} \frac{z_n}{z} + \varphi \rho_{S\max} \quad (\text{绪}-10)$$

式中： ρ 、 ρ_n ——分别为工作状态下湿气体的密度和标准状态下湿气体干部分的密度， kg/m^3 ；

$\rho_{S\max}$ ——水蒸气的最大密度， kg/m^3 ；

$p_{S\max}$ ——水蒸气的最大分压力，Pa；

p 、 p_n ——分别为工作状态和标准状态下的绝对压力，Pa；

T 、 T_n ——分别为工作状态和标准状态下的热力学温度，K；

φ ——水蒸气湿度；

z 、 z_n ——分别为工作状态和标准状态下的气体压缩系数，Pa。

2) 采用绝对湿度参数时工作状态下湿气体的密度计算式

$$\rho = \left[\rho_0 + \left(1 - \frac{\rho_0}{0.804 f} \right) \right] \frac{p T_0}{p_n T z} \quad (\text{绪}-11)$$