



“十二五”  
国家重点图书

# 流量测量技术全书

Flow Measurement Technique Handbook

## 上册

王池 王自和 张宝珠 孙淮清 编著



化学工业出版社



「 下 一 五  
国家重点图书 」

# 流量测量技术全书

Flow Measurement Technique Handbook

## 上册

王 池 王自和 张宝珠 孙淮清 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

流量测量技术全书. 上册/王池等编著. —北京: 化学工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-122-13437-0

I. 流… II. 王… III. 流量计量 IV. TB937

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 021486 号

---

责任编辑: 刘 哲 宋 辉

文字编辑: 孙 科

责任校对: 王素芹

装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 44½ 字数 1250 千字 2012 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 99.00 元

版权所有 违者必究

# 《流量测量技术全书》 编审委员会

主任委员：王 池

副主任委员：王自和 孙淮清 张宝珠

委 员：（以姓氏笔画为序）

马中元 王 池 王东伟

王自和 王京安 王树铎

朱凤书 伊树德 孙立军

孙淮清 李 志 李捷辉

应启夏 沈士清 张 涛

张宝珠 邵友夫 金宁德

宗文波 段慧明 姜仲霞

徐英华 盛森芝 章承宏

曾凡宏 詹志杰 满庆丰

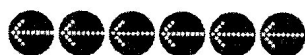
樊尚春 魏 华



# 《流量测量技术全书》

## 编写人员

- 第1章 王 池 王东伟  
第2章 张 涛 郑丹丹  
第3章 张 涛  
第4章 王 池  
第5章 沈士清  
第6章 张 涛 徐 英  
第7章 孙淮清 李 志 李少峰 曾凡宏 王京安 李 健  
第8章 应启夏  
第9章 姜仲霞 姜川涛  
第10章 魏 华  
第11章 马中元 马 博  
第12章 樊尚春  
第13章 王京安 周国祥  
第14章 朱凤书 朱晓群  
第15章 詹志杰 徐英华 张 涛(女) 王树铎 章承宏  
伊树德  
第16章 金宁德 满庆丰 耿春明 盛森芝 张 玳 段慧明  
李捷辉 邵友夫 孙立军 宗文波 刘艳山 王国欣  
第17章 王 池  
第18章 王 池  
第19章 王 池  
第20章 王 池  
总附录 张宝珠



# 序

流量计量是科学计量的重要组成部分，也是仪器仪表工业最主要的内容之一。它在贸易结算、能源计量、过程控制、环境保护等方面得到了广泛的应用，发挥了重要的作用，并推动和支持了国民经济的发展。由于测量介质、流动过程、环境条件的复杂性和使用要求的广泛性，流量测量技术种类繁多、影响因素复杂，因而流量计量的方法和原理多样且繁杂，大的分类就有几十种。正确了解不同种类流量计的原理、特点、使用条件、校准方法等就成为流量计量工作者的需要，流量测量技术方面的书籍一直是相关领域技术人员急需的学习工具。

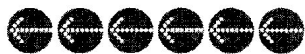
《流量测量技术全书》一书从帮助流量测量领域技术人员解决实际问题、提升人员技术水平出发，系统论述与流量测量技术相关的理论知识，描述流量计及流量校准装置的原理和结构，分析流量计及校准装置的适用性，分析使用条件对测量结果的影响，给出流量计及检测装置的检定校准方法，具有较强的实用性。该书还提供了国内外最新研究进展和成果，使得该书与同类书籍相比具有较高的学术价值。

该书的作者们长期从事流量计量研究工作，对流量仪表的计量性能有着深入的研究并积累了丰富的实践经验。相信该书能够对从事流量计和流量标准装置生产、使用、校准、研究的相关人员有所助益，能够对促进流量计量行业的发展有所助益。

中国工程院院士：

张钟华

2012年2月20日



流量测量技术是伴随着全球经济工业化、贸易化而在近半个世纪快速发展起来的应用型测量技术，应用于天然气、石油等能源流体的贸易结算，水资源的贸易结算，各种流体的计量，废水、废气的排放量监测，家用燃气、自来水等的计量结算，也大量应用于工业过程控制、工厂设备的效率提高和运行管理等方面，因此流量测量与能源节约、环境保护、产业发展以及人们的日常生活密切相关，应用范围广泛。特别是在能源和资源日益短缺、环境保护日益重要的今天，人们对流量测量准确性和可靠性的需求逐渐提高，流量测量技术近年来有了飞跃式的发展，流量测量领域从业人员已达到几十万人，他们迫切需要了解相关技术。

本书面向流量测量领域从事研究、检测、设计、生产、使用等工作的相关技术人员，以流量测量领域相关科学理论、国内外最新研究成果、实际应用中积累的先进技术和经验为主要参考资料，系统论述流量测量领域相关的物理学、流体力学、不确定度等方面的理论基础，描述各种流量计及流量校准装置的原理和结构，分析各种流量计及校准装置的适用性，分析使用条件对测量结果的影响，提供国内外最新研究进展和成果，给出流量计及检测装置的检定校准方法，给出流量测量技术应用中可能出现的技术问题的解决方案。希望本书能使读者对流量测量技术有较为客观、完整而深入的理解，并能够解决读者在实际工作中碰到的问题。本书特别对检测工作及数据的正确分析、流量计选型和正确使用提供指导，以促进相关技术人员技术水平的提升。

本书在收入流量计基础知识的同时收入了仪表选型、使用要点等相关知识，并增加了计量检测标准装置、检测方法和数据分析方面的内容，具有较强的实用性。

本书的主要参编人员都是长期从事流量测量技术研究的科研人员。国家水大流量计量站王自和高工提供了全书的最初框架，并对书稿的大部分内容做了审查。张宝珠高工承担了书稿完成过程中联系人员、督促进度、整理、再编辑等大量而琐碎的工作。

本书的编写还得到以下人员的帮助：朴立华、沈明、沈军、沈勤、关海达、于海滨、戴军、殷参、袁斌、张金晶、王会龙、陈宝顺、丁华、郭玉梅、张宇、徐宝珍、耿存隆、李广荣、陈胜娟、应毓、颜海林、刘桂芳、杨曼丽、杨宗明、商希莲、路学敏、许战、刘爱党、王祯、王荣琴、王晨阳、常征、王莹莹、李晓蕾、赵海升、孙梅芳、喻嘉闽、果志英、雷蕾、奥武平、张龙飞、刘坤、耿永刚、刘森林、金岚、陈超洋、沈才忠、郑丽华、马丙辉、李然、孙定浩、应为忠、韦晨、李惠霞、伊正阳、金中爱、高忠科、王振亚、郑桂波、宗艳

波、盛强、贾苹、史伟明。

流量测量技术丰富而繁杂，还在不断发展和完善。由于编者水平有限，不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者



## 总目录



## 上册

## 第1篇 流量测量基础 &gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;

第1章	流量测量概述	2
第2章	流量测量常用物性参数	12
第3章	管道流流体力学基础	20
第4章	不确定度基础	45

## 第2篇 流量测量仪表 (上) &gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;

第5章	容积流量计	62
第6章	浮子流量计	116
第7章	差压流量计	143
第8章	涡轮流量计	457
第9章	流体振动流量计	489
第10章	超声流量计	608
第11章	电磁流量计	631

## 下册

## 第3篇 流量测量仪表 (下) &gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;

第12章	质量流量计	2
第13章	流量流量机	46
第14章	明渠流量计	101
第15章	民用流量计	217
第16章	其他流量测量	422

## 第4篇 流量标准装置及校准 &gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;&gt;

第17章	流量标准装置概述	613
第18章	液体流量标准装置	616
第19章	气体流量标准装置	639
第20章	其他流量标准装置	658
附录		668



## 第 1 篇 流量测量基础 >>>>>>

### 第 1 章 流量测量概述

1.1 流量计量的历史和未来 .....	2
1.1.1 流量计量的历史 .....	2
1.1.2 流量计量的未来 .....	3
1.2 流量测量方法概述 .....	3
1.2.1 用伯努利方程原理来测量流量 .....	4
1.2.2 用一个一个标准小容积测量流量 .....	4
1.2.3 用测量流速来得到流量 .....	4
1.2.4 以测量流体质量流量为目的的流量测量方法 .....	5
1.3 相关术语 .....	5
1.3.1 流量测量 .....	5
1.3.2 测量条件 .....	6
1.3.3 流量计结构 .....	6
1.3.4 测量性能 .....	6
1.4 流量计的分类和选择 .....	7
1.4.1 流量计的分类 .....	7
1.4.2 流量计的选择 .....	8
1.5 流量计量法规要求 .....	9
1.5.1 流量计的制造 .....	9
1.5.2 流量计的修理 .....	9
1.5.3 进口流量计的销售 .....	10
1.5.4 流量计的使用 .....	10
1.5.5 流量计的检定 .....	10
1.5.6 仲裁检定 .....	10

### 第 2 章 流量测量常用物性参数

2.1 密度 .....	12
2.2 黏度 .....	14
2.3 流体的可压缩性与热膨胀性 .....	17

2.4 比热容和绝热指数	19
--------------	----

## 第3章 管道流流体力学基础

3.1 雷诺实验和雷诺数	20
3.2 圆管中的流速分布	23
3.2.1 圆管中的层流流速分布	23
3.2.2 圆管中的湍流	25
3.3 流动基本方程	27
3.3.1 流体运动的基本概念	27
3.3.2 定常流动的连续性方程	28
3.3.3 伯努利方程	29
3.3.4 动量定理	31
3.4 边界层	31
3.5 卡门涡街	33
3.6 气体的一元流动简介	35
3.6.1 声速和马赫数	35
3.6.2 一元气流的流动特性	36
3.6.3 气体一元流动的临界压力比	38
3.7 计算流体动力学	39
3.7.1 计算流体动力学的含义	39
3.7.2 CFD 的求解过程	40
3.7.3 计算流体动力学的特点	41
3.7.4 计算流体动力学在流量计研究领域的应用	42
3.7.5 CFD 软件结构	42
3.7.6 CFD 商用软件——FLUENT 简介	43
参考文献	43

## 第4章 不确定度基础

4.1 不确定度定义及发展历程	45
4.1.1 不确定度的定义	45
4.1.2 不确定度的发展历程	45
4.1.3 评定测量不确定度的意义	46
4.2 测量学基础知识	46
4.3 统计学基础知识	47
4.3.1 算术平均值	47
4.3.2 数学期望	47
4.3.3 方差	48
4.3.4 标准偏差	48

4.3.5	标准偏差的估计值	48
4.3.6	算术平均值的标准偏差	49
4.3.7	异常值及其剔除	49
4.4	不确定度基础知识	49
4.4.1	标准不确定度	49
4.4.2	相对不确定度	50
4.4.3	合成标准不确定度	50
4.4.4	扩展不确定度	50
4.4.5	包含因子	50
4.4.6	分布	50
4.5	不确定度评估方法	51
4.5.1	数学模型	51
4.5.2	标准不确定度的评定方法	52
4.5.3	标准不确定度的 A 类评定	52
4.5.4	标准不确定度的 B 类评定	52
4.5.5	合成标准不确定度的评定	54
4.5.6	扩展不确定度的评定	54
4.5.7	测量不确定度的报告与表示	55
4.6	几个容易混淆的问题的讨论	55
4.6.1	误差与不确定度	55
4.6.2	不确定度的 A 类评定与 B 类评定	56
4.6.3	包含因子与置信水平的关系	56
4.7	常用仪器设备的不确定度分析	56
4.7.1	温度计	57
4.7.2	压力计	58
4.7.3	计时器	58

## 第 2 篇 流量测量仪表 (上) >>>>>>>>

# 第 5 章 容积流量计

5.1	概要	62
5.1.1	容积流量计的构造	62
5.1.2	容积流量计的功能	62
5.1.3	容积流量计的计量精确度与误差	65
5.1.4	附件	67
5.2	测量原理	67
5.2.1	理论计量公式	68
5.2.2	流量计的压力损失与计量的准确度	68
5.2.3	流量计的真实流量	69

5.2.4	误差与理论流量的关系	71
5.2.5	容积流量计的示值误差	74
5.2.6	影响性能的其他因素	77
5.3	容积流量计的类型	79
5.3.1	章动圆盘及旋动活塞流量计	79
5.3.2	转子式容积流量计	81
5.3.3	旋转叶片式流量计	92
5.3.4	往复式容积流量计	95
5.3.5	其他型式的气体容积流量计	97
5.4	容积流量计各种类型的选择	98
5.4.1	概述	98
5.4.2	流量表的性能	98
5.4.3	流体特性方面的考虑	101
5.4.4	流量计的安装条件	102
5.4.5	环境的影响	104
5.4.6	经济因素的考虑	105
5.5	容积流量计正确的使用方法	107
5.5.1	流量计的安装应考虑的因素	107
5.5.2	典型容积流量计的安装	107
5.5.3	运行程序	108
5.5.4	运行中应注意的事项	108
5.5.5	停止运行时应该注意的事项	109
5.5.6	容积流量计的典型故障与对策	109
5.5.7	检查与保养	110
5.5.8	五种典型容积流量计的分解图	111
5.6	展望	115
	参考文献	115

## 第6章 浮子流量计

6.1	概要	116
6.2	工作原理	116
6.3	刻度换算	117
6.3.1	液体流量的刻度换算	117
6.3.2	气体流量的刻度换算	118
6.3.3	浮子流量计的量程换算	121
6.3.4	刻度换算实例	121
6.4	玻璃管浮子流量计	122
6.4.1	玻璃管浮子流量计的结构	122
6.4.2	玻璃管浮子流量计的性能指标	123

6.5	金属管浮子流量计 .....	124
6.5.1	金属管浮子流量传感器 .....	124
6.5.2	指示器 .....	125
6.5.3	不同安装方式的金属管浮子流量计 .....	129
6.5.4	金属管浮子流量计的主要性能指标 .....	130
6.6	浮子流量计的特点与使用 .....	131
6.6.1	浮子流量计的特点 .....	131
6.6.2	浮子流量计应用概况 .....	131
6.6.3	浮子流量计的类型和结构选择 .....	132
6.6.4	浮子流量计测量范围的选择 .....	132
6.6.5	流体黏度对流量测量的影响 .....	134
6.6.6	浮子流量计的安装 .....	135
6.6.7	浮子流量计的使用 .....	136
6.6.8	浮子流量计常见故障及处理 .....	136
6.7	微小流量金属管浮子流量计 .....	137
6.7.1	概述 .....	137
6.7.2	微小流量金属管浮子流量计构成的吹流仪表 .....	139
6.8	展望 .....	140
6.9	行业标准与检定规程 .....	140
6.9.1	机械行业标准《JB/T 6844—1993 金属管浮子流量计》简介 .....	140
6.9.2	机械行业标准《JB/T 9255—1999 玻璃管转子流量计》简介 .....	141
6.9.3	计量检定规程《JJG 257—2007 浮子流量计》简介 .....	142

## 第7章 差压流量计

7.1	概要 .....	143
7.2	节流式差压流量计 .....	144
7.2.1	概述 .....	144
7.2.2	基本原理 .....	145
7.2.3	标准节流装置 .....	157
7.2.4	其他（非标准）节流装置 .....	212
7.3	绕流式差压流量计 .....	241
7.3.1	均速管流量计 .....	243
7.3.2	靶式流量计 .....	260
7.3.3	环形通道流量计 .....	269
7.3.4	弯管流量计 .....	273
7.4	临界流流量计 .....	281
7.4.1	概述 .....	281
7.4.2	基本工作原理 .....	282
7.4.3	结构类型与技术特性 .....	299



7.4.4	流量计的设计计算 .....	308
7.4.5	流量计的检验 .....	313
7.4.6	小型声速文丘里喷嘴 .....	316
7.5	脉动流流量计 .....	325
7.5.1	概述 .....	325
7.5.2	脉动流流量计测量的误差源 .....	326
7.5.3	脉动流平均流量的确定方法 .....	328
7.5.4	脉动流的流量基本方程 .....	333
7.5.5	脉动流流量计的校验 .....	335
7.6	混相流流量计 .....	341
7.6.1	基本知识 .....	341
7.6.2	孔板流量计 .....	347
7.6.3	文丘里管流量计 .....	351
7.6.4	靶式流量计 .....	354
7.6.5	V形内锥流量计 .....	357
7.7	差压变送器 .....	360
7.7.1	差压变送器工作原理 .....	360
7.7.2	差压变送器的结构 .....	360
7.7.3	差压变送器的发展 .....	361
7.7.4	差压变送器的选型 .....	362
7.7.5	差压变送器的安装使用 .....	364
7.7.6	差压变送器故障诊断 .....	367
7.7.7	选型举例 .....	368
7.8	流量积算仪 .....	370
7.8.1	流量积算仪 .....	370
7.8.2	流量积算仪的通信 .....	377
7.8.3	流量积算仪的应用 .....	385
7.8.4	流量积算仪的发展趋势 .....	392
7.8.5	流量积算仪的检定 .....	393
附录 A	流量计算通用图表 .....	396
附录 B	气体、液体物理性质表 .....	411
附录 C	物性参数计算式 .....	414
附录 D	水和水蒸气的物理性质表 .....	425
	参考文献 .....	455

## 第 8 章 涡轮流量计

8.1	概述 .....	457
8.2	测量原理 .....	458
8.3	结构 .....	459

8.3.1	液体涡轮流量计 .....	459
8.3.2	气体涡轮流量计 .....	461
8.4	涡轮流量计的一般特性 .....	461
8.4.1	液体涡轮流量计 .....	461
8.4.2	气体涡轮流量计 .....	462
8.5	自校正涡轮流量计 .....	462
8.5.1	概述 .....	462
8.5.2	自校正涡轮流量计工作原理 .....	463
8.5.3	自校正涡轮流量计结构特点 .....	464
8.6	温度、压力补偿型的气体涡轮流量计 .....	465
8.6.1	概述 .....	465
8.6.2	智能气体涡轮流量计的设计 .....	466
8.7	直接式涡轮质量流量计 .....	472
8.7.1	工作原理 .....	472
8.7.2	数学模型的建立 .....	473
8.7.3	系统硬件 .....	475
8.7.4	软件设计 .....	477
8.8	几种特殊型式的涡轮流量计 .....	477
8.8.1	动力流量计 .....	477
8.8.2	冲击式流量计 .....	478
8.8.3	直叶片式流量计 .....	479
8.9	涡轮流量计的选用要点 .....	479
8.10	安装与使用 .....	481
8.10.1	安装 .....	481
8.10.2	连接管道 .....	483
8.10.3	电气连接 .....	483
8.10.4	使用 .....	484
8.10.5	维修 .....	485
8.11	标准和法规 .....	486
	参考文献 .....	488

## 第9章 流体振动流量计

9.1	概述 .....	489
9.1.1	概况 .....	489
9.1.2	流体振动流量计的特点 .....	489
9.2	涡街流量计 .....	490
9.2.1	测量原理 .....	490
9.2.2	组成与结构 .....	493
9.3	涡街流量计的漩涡发生体 .....	493

9.3.1	发生体的功能 .....	493
9.3.2	发生体的分类 .....	493
9.3.3	基本要求 .....	494
9.3.4	单发生体 .....	494
9.3.5	双(多)发生体 .....	497
9.3.6	发生体的几何尺寸 .....	498
9.3.7	发生体的斯特劳哈尔数 .....	499
9.3.8	发生体的力学特性 .....	502
9.3.9	三维漩涡发生体——环状发生体 .....	504
9.4	涡街信号的检测 .....	508
9.4.1	伴随漩涡分离的物理现象 .....	508
9.4.2	涡街信号的检测方式 .....	509
9.5	不同类型涡街流量计及其检测技术的应用 .....	510
9.5.1	热敏式涡街流量计及热敏检测技术的应用 .....	510
9.5.2	应力式涡街流量计及压电检测技术的应用 .....	512
9.5.3	超声式涡街流量计与超声检测技术的应用 .....	517
9.5.4	应变式涡街流量计及应变检测技术的应用 .....	520
9.5.5	电容式涡街流量计及电容检测技术的应用 .....	522
9.5.6	振动体式涡街流量计及磁电检测技术的应用 .....	524
9.5.7	光电(纤)式涡街流量计及光电检测技术的应用 .....	525
9.6	信号处理 .....	527
9.6.1	信号处理的目标和基本要求 .....	527
9.6.2	信号处理电路的组成 .....	528
9.6.3	前置放大器类型 .....	528
9.6.4	噪声与滤波电路 .....	528
9.6.5	整形电路 .....	530
9.7	智能型涡街流量计 .....	530
9.7.1	特点 .....	530
9.7.2	功能 .....	531
9.7.3	智能型涡街流量计的几种形式 .....	532
9.7.4	仪表系数 $K$ 和流体状态的补偿 .....	533
9.7.5	软件设计 .....	535
9.7.6	噪声的鉴别与处理 .....	536
9.8	涡街质量流量计 .....	536
9.8.1	间接式涡街质量流量计 .....	536
9.8.2	漩涡强度型涡街质量流量计 .....	537
9.8.3	差压型涡街质量流量计 .....	538
9.8.4	超声型涡街质量流量计 .....	539
9.9	缩径型涡街流量计 .....	540
9.9.1	问题的提出 .....	540