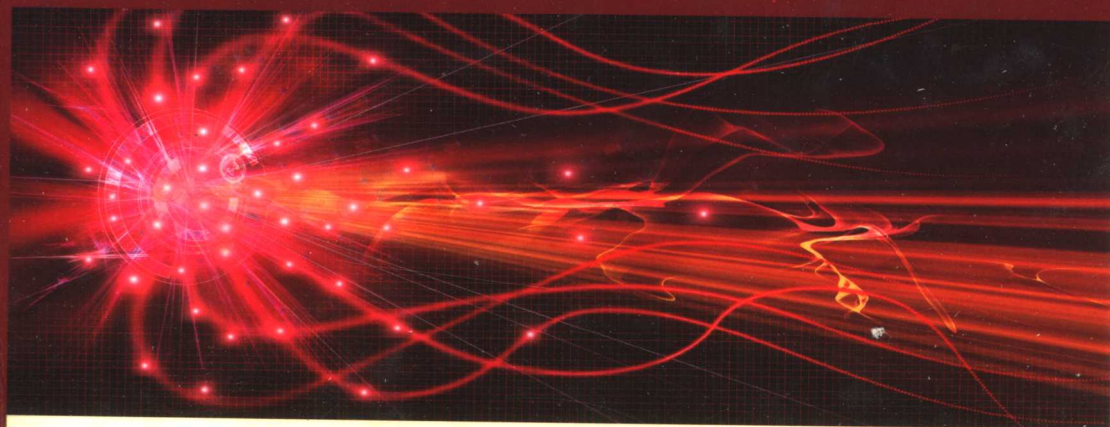




实用流量仪表的 原理及其应用 (第2版)

Essential Flow Measurement Principles and Applications
(Second Edition)

□ 周庆 R. Haag 王磊 编著 □



国防工业出版社

National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书主要介绍当前工业现场常用于液体、气体和蒸汽测量的流量仪表。这些流量仪表包括压差流量仪表、转子流量仪表、电磁流量仪表、涡街流量仪表、超声波流量仪表、科氏质量流量仪表、热式流量仪表和激光多普勒流量仪表。流体流量的测量技术是流体物理量测量中最为复杂的一种。从目前国际潮流来看,体积流量的测量采用超声波流量仪表是发展的主流;该流量仪表的销售增长率为同类流量仪表之最。同样,在质量流量测量方面,科氏质量流量仪表与同类流量仪表相比占有绝对的优势。本书使用了较大的篇幅对这2种流量仪表重点进行阐述。本书还引入了国外最新的一些流量测量方法,在电磁流量仪表中有电容测量方法、未满管道的流量测量方法、灌装式测量方法和专门用于水处理的测量方法等。在超声波流量仪表中有3通道、4通道和5通道波束的测量方法。在质量流量计中着重介绍单直管和双直管科氏质量流量仪表的一些具体实施方法。以上这些在国内同类书籍中很少加以论述。

本书内容:第1章是基础知识;第2章~第9章分别叙述上述几种流量测量仪表的特点、工作原理、流量仪表的结构、选用,以及实际安装流量计时应注意的问题和仪表的应用范围,并列举了一些具体应用的实例;第10章讲述仪器用过程级现场总线的原理;第11章介绍智能流量计的自监测和自诊断的功能。本书在选材上吸收了国外的一些最新仪表实例,具有较高的实用价值。

本书可供大专院校和中专学校测量专业的师生参考,特别适用于从事工业过程设计的仪表选型人员和需使用流量仪表的企业的技术人员和操作人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

实用流量仪表的原理及其应用 / 周庆, (美) 哈格
(Haag, R.), 王磊编著. —2版. —北京:国防工业出版社,
2008. 1
ISBN 978-7-118-05176-6

I. 实… II. ①周… ②哈… ③王… III. 流量仪表 IV.
TH814

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第068788号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 484千字
2008年1月第2版第1次印刷 印数 1-2000册 定价 120.00元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

*

国防书店:(010)68428422 发行邮购:(010)68414474
发行传真:(010)68411535 发行业务:(010)68472764

流量测量的含义愈来愈广泛，它是整个过程自动化范围必不可少的部分，也是过程自动化的关键技术所在。在化工工业、石化工业、制药工业、化纤和造纸工业、原水和污水处理工业、食品工业、原料工业和所有涉及流体介质工业的设备中，都需要采用流量测量技术。最终产品的质量、设备运行的经济性和安全性、环境诸因素的掌控、循环再生产运行的可靠性在很大程度上通过精确的和可靠的流量测量控制加以保证。

一系列不同的流量测量方法产生出多种多样的流量仪器。工业用户总是根据他们的测量要求选择优化的测量方法和优化的测量仪器，这涉及必需的测量精度、现有的腐蚀条件、流体的流速、仪器的寿命、仪器的维护、流体材料的性能，如黏度、温度和压力的范围以及相应管道口径等。借助最现代的电子装置，对由传感器提供的测量信号进行处理和转换，以便既能实现测量现场的数据显示又能在联网的智能自动化系统中进行数据信号的传递。在过程自动化系统中，必须考虑使用正在迅速发展的现代总线系统，流量测量仪器必须与此项技术兼容。此外，现代的电子装置能使测量仪器愈来愈智能化：仪器的自诊断自监测以及仪器状态的无线通信查询，重点强调的是“仪器的智能性”。这就对生产流量测量仪器的厂商提出了更高的要求。

2005年，过程自动化系统全球市场的销售额为600亿美元，而到2010年预计达到800亿美元。这相当于每年将以6%的速度递增，其中，中国的自动化市场的递增速度将达到10%。作为自动化技术的子项，流量技术的全球市场预计接近40亿美元的销售量，中国市场的增长率最高。如果没有高技术含量的流量测量设备在过程工业和过程自动化的使用，那么中国经济迅速增长是不可设想的。本书是大专院校师生、仪器生产厂商的专业人员、仪器用户的专业人员和职业培训教师不可缺少的辅导读物。

德国KROHNE测量技术有限公司董事会主席
Rolf Theenhaus 博士教授

前言

流体的流量测量已在工业生产中得到了广泛的应用，特别是石油化工、食品、医药、煤炭等领域，并逐渐向民用方向发展，如：汽车加油站、供水供气 and 供暖、环境保护等。目前的市场上，按照测量原理、制造工艺和测量用途有品种繁多的流量计量仪可供选择。本书就是为读者在选择流量仪表的类型以及了解相应流量计原理和应用实例方面提供一些帮助。

本书着重理论与实践相结合，以目前较为先进的和在工业界使用广泛的产品为原形，并在选材方面更多采用国外的新产品和新理念，有较高的实用价值。

本书共分11章。第1章阐述了流体流量测量的基础知识。第2章~第9章分类介绍按不同测量原理设计的流量仪表。它们包括压差流量计、转子流量计、电磁流量计、涡街流量计、超声波流量计、科氏质量流量计、热式流量计和激光多普勒流量计。书中不但从原理和工艺上对各种流量计加以叙述，而且还指出具体应用中应注意的实际问题和介绍一些国内外的应用实例。从目前国际潮流来看，体积流量的测量采用超声波流量仪表是发展的主流，该流量仪表的销售增长率为同类流量仪表之最。同样，在质量流量测量方面，科氏质量流量仪表与同类流量仪表相比占有绝对的优势。本书使用了较大的篇幅对这2种流量仪表重点进行阐述。本书还引入了国外最新的一些流量测量方法，在电磁流量仪表中有电容测量方法、未满管道的流量测量方法、灌装式流量测量方法和水处理的流量测量方法等。在超声波流量仪表中有3通道、4通道和5通道波束的测量方法。在质量流量计中着重介绍单直管和双直管科氏质量流量仪表的一些具体实施方法。以上这些在国内同类书籍中很少加以论述。另外，第10章介绍了目前现代流量计最常用的过程级现场总线的基本原理和组成结构。随着智能化仪器技术的发展，第11章叙述了仪器的自监测和自诊断功能的一些原理，特别是针对电磁流量计介绍相应自监测和自诊断功能的实现方法。这些内容在国内的同类书籍中也从未介绍过。

本书的内容通俗易懂，可使读者对流量仪表从理论到实践有系统的了解。本书可供大专院校和中专学校测量专业的师生参考，特别适用于从事工业过程设计的仪表选型人员和需使用流量仪表的企业技术人员和操作人员阅读。

在本书的编写过程中得到了德国KROHNE测量技术有限公司的支持和帮助，对此谨表衷心的感谢。

限于作者水平，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编著者

2007年8月

在我们日常生活的所有方面，几乎都会遇到对液体、气体以及蒸汽和颗粒状流体的体积流量与质量流量的检测。但在过程控制领域，如化工工业、石油工业、食品和日用品工业、冶金工业和环境保护，流量测量更具有特别重要的含义。在所有这些过程中，要传送液体、气体和颗粒状流体（主要是管道传送），并必须对流过的体积或重量进行连续测量或用容器计量。每个过程在测量精度、分辨率和重复性方面对系统的测量仪器都有一定的要求。这些要求通常用百分比来表示；但对灵敏要求高的过程控制以及贵重的或有毒的材料的计测量必须达到千分之几的精确程度。

另一个重要的应用领域是国家的标准计量，国际上称为“custody transfer”，它对测量和可靠性要求相当苛刻。由于材料的性能（如密度、黏度或导电能力）和环境条件（如温度和错误测量引起结果的不准确）时刻都在变化，要精确地获取测量结果有很大的难度。因此，在应用中选择正确的测量方法具有决定性的作用。

虽然当今的科研人员还在寻找着新的测量原理和方法；或对已有的方法加以改进，以提高测量的精度和降低干扰因素对测量的影响。但是，实践证明现有的标准测量方法都是十分有效和可靠的。

本书是同济大学和生产流量测量仪表的德国Krohne测量有限公司共同合作的结晶。它的内容特别适用于两类不同的读者：一类是高等院校的工科学学生；另一类为厂矿企业的工程师、技术员和现场操作人员，尤其是规划、设计和制作过程控制设备的主管工程师。

通常，根据性能条件和投资成本等因素，要实现对必需的测量系统进行优化选择实属不易，对此，本书可提供一些建议和帮助。

德国波鸿鲁尔大学
电子测量和电子技术教研室
J. Winfried Klein博士教授



1 绪论

001

1.1 流体流量的基础知识 / 001

1.1.1 流体的一些物理参数 / 001

1.1.2 流量的基本方程 / 003

1.1.3 流体的流动形式和流速分布 / 005

1.2 流量计的主要参数 / 006

1.3 流量计的分类 / 008

1.4 流量计的选择和性能比较 / 009

2 压差流量测量方法

012

2.1 引言 / 012

2.2 流体动力学基础 / 012

2.3 在简单假设下的流量方程 / 016

2.4 流量方程的实际比例关系 / 016

2.5 喷嘴节流 / 019

2.5.1 喷嘴结构 / 019

2.5.2 在喷嘴中的流动过程和流量系数 / 020

2.5.3 在喷嘴中压缩流体的流量方程 / 023

2.6 孔板式节流装置 / 025

- 2.6.1 标准孔板装置结构 / 025
- 2.6.2 孔板节流时流动过程和流量系数 / 026
- 2.6.3 可压缩流体的孔板流量方程 / 028

2.7 各种压差测量方法的比较 / 028

3 转子流量计

031

3.1 引言 / 031

- 3.1.1 历史发展状况 / 031
- 3.1.2 主要性能 / 032
- 3.1.3 应用范围 / 033

3.2 基本原理 / 033

- 3.2.1 流量与密度的关系 / 033
- 3.2.2 浮子几何形状对测量的影响 / 036
- 3.2.3 流量和显示的关系 / 037
- 3.2.4 大雷诺系数时的换算 / 038
- 3.2.5 黏度的影响 / 038

3.3 仪器的实现 / 040

- 3.3.1 玻璃测量管道的转子流量计 / 040
- 3.3.2 小流量玻璃测量管道转子流量计(DK系列) / 041
- 3.3.3 塑料测量管道的转子流量计 / 041
- 3.3.4 金属测量管道的转子流量计 / 042
- 3.3.5 小流量金属测量管道的转子流量计(DK金属系列) / 042
- 3.3.6 采用导杆浮子的转子流量计(H系列) / 043
- 3.3.7 短程转子流量计 / 045

3.4 应用实例 / 046

- 3.4.1 轿车车身油漆准备工序的超渗滤设备 / 046
- 3.4.2 超纯净水的计量 / 047
- 3.4.3 高纯蒸汽设备中的二氧化碳计量 / 048
- 3.4.4 VA 20测量水溶液流量 / 048
- 3.4.5 石化设备中多种产品的计量 / 049
- 3.4.6 应用PROFIBUS-PA工业现场总线技术的H250转子流量计 / 050

4 电磁流量计

051

4.1 引言 / 051

- 4.1.1 简史 / 051
- 4.1.2 基本要求和性能 / 053
- 4.1.3 应用范围 / 055

4.2 基本理论 / 055

- 4.2.1 电磁感应原理 / 055
- 4.2.2 交变磁场的电磁流量测量 / 056
- 4.2.3 电容传感器的电磁流量测量 / 057
- 4.2.4 三角波磁场的电磁流量测量 / 057
- 4.2.5 方波磁场的电磁流量测量 / 058

4.3 流量计的实现 / 059

- 4.3.1 满管道式电磁流量计的结构 / 059
- 4.3.2 特殊的电磁流量计 / 068

4.4 流量计的选择和规划 / 075

- 4.4.1 满管式电磁流量计的选择 / 075
- 4.4.2 结构形状选择 / 077

4.5 选择变送器的安装位置(电子部分) / 079

4.5.1 重点要求 / 079

4.5.2 电磁流量计的接地 / 079

4.6 应用实例 / 080

4.6.1 水资源利用 / 080

4.6.2 饮料工业 / 082

4.6.3 化工工业 / 087

4.6.4 造纸工业 / 091

4.6.5 其他领域应用 / 093

5 涡街流量计

096

5.1 引言 / 096

5.1.1 涡街流量计的特性 / 096

5.1.2 涡街流量计的发展过程 / 097

5.2 基本原理 / 097

5.3 仪器的实现 / 100

5.4 涡街流量计的实现 / 104

5.5 应用实例 / 106

6 超声波流量计

107

6.1 引言 / 107

6.1.1 性能和特点 / 108

6.1.2 应用范围 / 108

6.2 超声波流量计的原理 / 109

- 6.2.1 声学基础 / 109
- 6.2.2 超声波多普勒测量原理 / 109
- 6.2.3 超声波时差测量原理 / 111

6.3 仪器的实现 / 117

- 6.3.1 夹持式流量计 / 117
- 6.3.2 串接式超声波流量计 / 119
- 6.3.3 串接时差式气体超声波流量计 / 121
- 6.3.4 可焊接的测量探头 / 123
- 6.3.5 可用于计量标准标定的5波束超声波体积流量计 / 124

6.4 应用实例 / 125

- 6.4.1 液体测量 / 125
- 6.4.2 气体测量 / 129
- 6.4.3 传感器固定于传输管道上的流量计应用 / 130
- 6.4.4 5波束超声波流量计的应用 / 133

7 科氏质量流量计

137

7.1 引言 / 137

- 7.1.1 质量流量计的发展过程 / 138
- 7.1.2 科氏质量流量计的优缺点 / 142

7.2 科氏流量计的基本原理 / 143

- 7.2.1 科氏力的形成 / 143
- 7.2.2 弯管流量计的原理 / 145
- 7.2.3 单直管流量计的测量原理 / 148
- 7.2.4 双直管流量计的测量原理 / 151

7.3 流量计的实现 / 152

- 7.3.1 双弯管质量流量计 / 152
- 7.3.2 单弯管质量流量计 / 153
- 7.3.3 单直管流量计 / 154
- 7.3.4 双直管流量计 / 155
- 7.3.5 测量变换和信号处理电路 / 156

7.4 应用实例 / 158

- 7.4.1 功能参数和可选要求 / 158
- 7.4.2 气体测量 / 159
- 7.4.3 液体测量 / 161

8 热式流量测量方法

174

8.1 物理基础知识 / 174

8.2 测量用传感器 / 176

- 8.2.1 电热丝传感器 / 176
- 8.2.2 电热膜传感器 / 176

8.3 测量电路 / 179

8.4 电热丝和电热膜传感器的方向灵敏度 / 184

8.5 热式仪器的时间特性 / 187

8.6 丝或膜状元件作为温度传感器 / 192

8.7 热式流速和流量测量仪 / 193

- 8.7.1 测量气体和液体流速的传感器结构 / 193
- 8.7.2 空气流速测量仪 / 193
- 8.7.3 热式流量计 / 195

8.8 热式测量方法的比较 / 204

9.1 引言 / 205

9.2 测量原理 / 205

9.2.1 参考光束检测仪 / 206

9.2.2 双光束测量仪 / 207

9.2.3 多普勒测量信号的干涉条纹模型 / 208

9.2.4 简单双光束多普勒测量系统的部件和光学配置 / 209

9.3 光电传感器 / 212

9.3.1 光电倍增管 / 213

9.3.2 PIN二极管 / 214

9.3.3 雪崩光电二极管 / 214

9.3.4 光电传感器的选择依据 / 215

9.4 散射粒子 / 216

9.5 信号处理 / 218

9.5.1 频率跟踪解调器 / 219

9.5.2 计数方法(计数器信号处理器) / 220

9.5.3 频谱分析仪 / 222

9.5.4 频率偏移方向识别 / 223

9.5.5 衍射光栅 / 223

9.5.6 布喇格单元 / 224

9.6 漫射系统 / 225

9.6.1 两或三分光激光多普勒测量仪 / 226

9.6.2 激光多普勒测量中的光导体和光半导体 / 228

9.7 激光多普勒的流量测量方法 / 230

- 9.7.1 测量原理 / 230
- 9.7.2 不稳定的测量 / 232
- 9.7.3 仪器的工艺要求 / 232

10 过程级现场总线

236

10.1 HART现场总线 / 236

- 10.1.1 引言 / 236
- 10.1.2 HART通信协议 / 240

10.2 基金会现场总线 / 252

- 10.2.1 引言 / 252
- 10.2.2 层次模型 / 254
- 10.2.3 用户应用 / 264

10.3 Profibus-PA现场总线网络 / 269

- 10.3.1 引言 / 269
- 10.3.2 Profibus现场总线的概述 / 270
- 10.3.3 Profibus-PA现场总线的设计方案 / 272
- 10.3.4 Profibus-PA中的项目化设计方法 / 281
- 10.3.5 Profibus-PA现场仪器的操作 / 282
- 10.3.6 Profibus-PA总线的仪器行规B / 283
- 10.3.7 Krohne流量仪器的Profibus-PA总线技术参数 / 284

11 流量计的自监测和自诊断功能

286

- 11.1 自监测和自诊断的实现 / 286
- 11.2 自监测的概念 / 287

- 11.2.1 维护保养 / 287
- 11.2.2 自监测和自诊断 / 288

11.3 现场仪器常见故障和错误状态 / 290

- 11.3.1 故障源 / 290
- 11.3.2 流量计的常见故障 / 290

11.4 电磁流量计的自监测方法 / 293

- 11.4.1 线性度监测 / 294
- 11.4.2 流速分布曲线的对称性监测 / 296
- 11.4.3 电极上的噪声监测 / 297
- 11.4.4 介质的电导率监测 / 298
- 11.4.5 磁场励磁线圈的温度监测 / 299

11.5 诊断功能的结构 / 300

- 11.5.1 引言 / 300
- 11.5.2 概念和限制 / 300
- 11.5.3 诊断功能的结构 / 301
- 11.5.4 诊断功能运行过程的结构 / 303
- 11.5.5 模块化实现的概念 / 304
- 11.5.6 数据的一致性和动态性 / 307
- 11.5.7 电磁流量计的自诊断方法 / 308

1 绪论

随着社会的发展,人们的生活对流体的应用愈益广泛,尤其是工业界愈来愈多的生产需要检测和控制流体(气体和液体等)的物理参数。有关流体的测量主要有3个物理参数:流量、压力和温度。对于一定的流体,只要知道这3个物理参数就可计算其具有的能量。同样,在能量转换时,必须检测这3个参数。由于流体压力和温度的测量方法相对简单,所以过程的流量测量就显得尤为重要。

1.1 流体流量的基础知识

1.1.1 流体的一些物理参数

1) 密度和重度

单位体积流体所具有的质量称为密度,用符号 ρ 表示。在均质的流体中取体积 ΔV 的流体,其含有 Δm 的质量,该流体相应的密度定义为

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (1.1)$$

密度的单位是 kg/m^3 。

重度是单位体积流体所具有的重力,即

$$\gamma = \frac{\Delta m \cdot g}{\Delta V} \quad (1.2)$$

重度的单位是 N/m^3 。

2) 黏度

当流体在外力作用下发生流动时,由于流体分子之间的内聚力作用,会造成分子的相对运动,并形成内摩擦力。这种由流体流动产生内摩擦力的性能称之为黏度。黏度与流体的温度和压力有关:当温度和压力变化时,黏度也产生变化。黏度的表示方法有多种:动力黏度、运动黏度、恩氏黏度和国际赛氏黏度。由于计算黏度方法的不同,这些黏度的量纲都不同。这里介绍3种黏度。

(1) 动力黏度

动力黏度又称为绝对黏度, 定义为

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \quad (1.3)$$

式中 μ —— 动力黏度($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = \text{Pa} \cdot \text{s}$);

τ —— 剪切应力($\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pa}$);

dv/dy —— 速度梯度(L/s)。

由于式(1.3)是牛顿内摩擦的表达形式, 通常把满足该式的流体称为牛顿流体, 其余的称为非牛顿流体。

动力黏度的国际单位是 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = \text{Pa} \cdot \text{s}$; 工程单位是 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 运动黏度

运动黏度 ν 是动力黏度与密度之比, 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.4)$$

运动黏度的国际单位是 m^2/s ; 工程单位是 mm^2/s 。在雷诺系数的计算中采用运动黏度。

(3) 恩氏黏度

由于动力黏度和运动黏度难以直接测量, 通常仅能用于理论分析和计算。在实际应用中常用特定的黏度计在规定的条件下直接测量液体的黏度。恩氏黏度计就是这样一种仪器。它测量的结果称为恩氏黏度, 也称为相对黏度。其定义为在某一特定温度(20°C 、 50°C 或 100°C)下, 取用200ml的被测液体, 这些流体流过恩氏黏度计所需时间 t 与在 20°C 温度下蒸馏水流过该黏度计的时间 t_0 相比, 即

$$^\circ E = \frac{t}{t_0} \quad (1.5)$$

工业上把 20°C 、 50°C 和 100°C 的恩氏黏度分别定义为 $^\circ E_{20}$ 、 $^\circ E_{50}$ 和 $^\circ E_{100}$ 。恩氏黏度和运动黏度 $\nu(\text{mm}^2/\text{s})$ 的换算关系为

$$\left. \begin{aligned} \nu &= 7.94^\circ E - \frac{8.22}{^\circ E} & ^\circ E &= 1.2 \sim 4.1 \\ \nu &= 7.66^\circ E - 1 & ^\circ E &= 4.1 \sim 12 \\ \nu &= 7.576^\circ E & ^\circ E &> 12 \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

■ 3) 气体的等熵指数和绝热指数

当气体流过节流装置时, 气体的热力过程假设为等熵过程。压力和体积满足关系式

$$pV^\kappa = \text{常数} \quad (1.7)$$

式中 p —— 压力;

V —— 体积;

κ —— 等熵指数。

当被测气体服从理想气体定律时, 等熵指数就等于绝热指数。这时, 由于 $c_v = c_p - 8.3143\text{kJ}/\text{kmol} \cdot \text{K}$, 等熵指数为

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1}{1 - \frac{8.3143}{c_p}} \quad (1.8)$$

式中 c_p —— 定压比热容;
 c_v —— 定容比热容。

等熵指数与流体种类、压力和温度等都有关系。到目前为止,许多气体还没有相应的等熵指数,只能采用绝热指数来近似代替。

1.1.2 流量的基本方程

1) 流量的概念和单位

在单位时间内流过管道或设备的流体体积或质量称之为流量。它们有体积流量和质量流量之分。体积流量用 q_v 表示,质量流量用 q_m 表示,即

$$\text{体积流量} = \frac{\text{体积}}{\text{时间}} \quad \text{或} \quad q_v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \text{和} \quad q_v = \frac{dV}{dt} \quad (1.9)$$

$$\text{质量流量} = \frac{\text{质量}}{\text{时间}} \quad \text{或} \quad q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad \text{和} \quad q_m = \frac{dm}{dt} \quad (1.10)$$

体积流量的国际标准单位是 m^3/s ,由于该单位很大,工程上通常采用 m^3/h 或 l/min 。质量流量的国际标准单位是 kg/s 或 kg/h 。

体积流量定义为,设流体流过某一小体积 $d^2V = ds \times dA$ 的微流量为 dq_v ,其中 dA 是流体通过的微截面积元, ds 是流体流过的微长度。这时相应的体积流量是速度和面积的乘积,即

$$dq_v = \frac{d^2V}{dt} = \frac{ds}{dt} dA = v \cdot dA \quad (1.11)$$

若要求取某一截面上流过的流量,则可通过对流过截面的积分得

$$q_v = \int_A dq_v = \int_A v \cdot dA \quad (1.12)$$

这里, v 是截面积位置的函数,即各点位置上的流速不同。若各点的流速为常数,那么体积流量可表示为

$$q_v = v \cdot A \quad (1.13)$$

在工业过程中流体在管道内流动的速度各不相同,但绝大多数流体的流速变化极其缓慢。据此,引入平均流速的概念,即 $v = q_v/A$,这里的 q_v 是平均体积流量。

质量流量为体积流量和密度的乘积,即

$$q_m = \rho \cdot q_v \quad (1.14)$$

上述的 q_v 和 q_m 流量称为瞬态流量;若要求取某一段时间 T 内流经管道的总体积和总质量,则可由对时间的积分进行累加,即

$$V = \int_T q_v dt \quad (1.15)$$

$$m = \int_T q_m dt \quad (1.16)$$

当流体的流速稳定和密度不变时,总体积和总质量为

$$V = q_v T \quad (1.17)$$