

高等学校适用教材

(第二版)

流量计量与测试

LIULIANG JILIANG YU CESHI

苏彦勋 梁国伟 盛健 编著



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

高等学校适用教材

流量计量与测试

(第二版)

苏彦勋 梁国伟 盛 健 编著

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

流量计量与测试 (第二版) / 苏彦勋, 梁国伟, 盛健编著. —北京: 中国计量出版社, 2007. 9
高等学校适用教材

ISBN 978-7-5026-2669-3

I. 流… II. ①苏…②梁…③盛 III. ①流量计量—高等学校—教材②流量—测试—高等学校—教材 IV. TB937

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 119694 号

内 容 提 要

本书根据教育部和国家质量监督检验检疫总局对高校教材编写的要求编写, 共分十一章。主要介绍流量计量与测试技术基础知识; 各种流量测量仪表的原理、结构、安装、调试、使用及维护方法; 流量计量标准装置的分类、原理、结构、设计计算、不确定度分析; 微机在流量计量与测试技术中的具体应用。

本书全面系统, 内容新颖, 列举大量试验数据, 分析透彻, 例题针对性强, 紧密结合流量计量教学的发展及科研和生产实际, 实用价值较高, 除作高等学校流量相关专业教材外, 亦可供科研和工程技术人员参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787mm×1092mm 16 开本 印张 31.25 字数 760 千字

2007 年 10 月第 2 版 2007 年 10 月第 3 次印刷

*

印数 6 001—8 000 定价: 56.00 元

第二版前言

本书是根据教育部和国家质量监督检验检疫总局对高等院校教材编写的要求,并结合中国计量科学研究院和中国计量学院培训高级计量人员的教学实践经验编写而成的。

本书自 1992 年出版以来,受到有关大专院校和计量企事业单位的欢迎与好评。近年来,流量计量与测试技术发展迅速,新型流量标准装置和测量仪表不断问世,在教学和科研方面也取得新的成果和经验。为反映当今国内外流量计量与测试技术的现状,帮助从事科研和教学任务的教师和工程技术人员掌握、使用新开发的装置和新型流量计,作者集多年教学和科研之成功经验,以及国内外多种新型样机、流量装置和国际标准、论点、考察报告等大量资料,对本教材进行了修订和补充。

本书第二版在第一版的基础上进一步深入地介绍了近期开发的各种流量测量方法和仪表的标定装置(如气体活塞式体积管、双时脉冲插值技术的成功采用,标准流量计法流量装置进展成果,特殊流体流量检测装置——三相流检测装置和标定方法,V 锥型、槽道型、双转子旋转活塞,非接触式超声多普勒、直接式质量流量计、节流装置和临界流文丘里喷管等),新技术和新要求。并在若干种典型装置和新型流量计结构、原理、使用和检测方法的介绍中,融入了微机和测量不确定度在流量计量和测试技术领域中的成功应用。因此本书较系统、全面,实用价值较高。

对流量标准装置和流量计的检测技术,以及试验数据的处理,是流量计量的核心和基础,是评价流量计量装置不确定度的依据。近年来对装置不确定度的评定、流量计检测方法 & 测试数据的处理都有新的发展和规定。本书(第二版)对有关这方面的内容也作了修订和补充。

本书第二版由中国计量科学研究院苏彦勋高级工程师和中国计量学院梁国伟、盛健教授编著。其中第一、三、四、五、六章由梁国伟编著;第二章由梁国伟、盛健共同编著;第七章至第十一章及附录由苏彦勋编著。全书由苏彦勋统稿和审定。本书出版以来,得到广大大专院校师生、计量系统和厂矿企业技术人员的厚爱和鼓励,特别是对本书提出了不少宝贵意见,对这次修订帮助很大。在第二版修改过程中,中国计量科学研究院热工和材料性能研究所王池所长、流量研究室主任李旭、孟涛等高级工程师和其他研究人员等,中国流量网总经理张宝珠高级工程师、浙江宁波明泰流量设备有限公司张泰丰教授、开封国家水大流量计量站王自和高级工程师等提出宝贵意见,提供资料,有的还参加了审稿;责任编辑刘汉钧在第二版书稿的编辑过程中认真负责,付出了辛劳,在此一并表示衷心的感谢。

本书虽然是第二版,但错误和疏漏仍然难免,敬请读者指正。

编著者

2007 年 3 月

目 录

第一章 流量计量与测试技术基础	(1)
第一节 流量测量基本概念	(1)
一、流量与流量计	(1)
二、流量的单位	(2)
三、流量计量常用术语	(2)
第二节 流量测量方法概述与分类	(5)
第三节 流量计量中常用物性参数	(7)
一、流体的密度	(7)
二、流体的粘度	(11)
三、流体的压缩性和膨胀性	(12)
四、气体的等熵指数	(14)
五、比热容	(15)
第四节 管内流动基本知识	(16)
一、层流与紊流	(16)
二、管内速度分布与平均流速	(17)
三、流动基本方程	(19)
四、空化和空蚀(气穴和气蚀)	(20)
第二章 容积式流量计	(22)
第一节 容积式流量计的测量原理与结构	(22)
一、转子型流量计	(22)
二、刮板型流量计	(26)
三、活塞型流量计	(28)
四、其他型流量计	(29)
第二节 容积式流量计的特性与影响因素	(31)
一、容积式流量计的误差特性	(31)
二、容积式流量计的压力损失特性	(33)
三、物性参数对容积式流量计特性的影响	(34)
四、容积式流量计误差特性的调整	(36)
第三节 容积式流量计的选择、安装、使用和维护	(37)
一、容积式流量计的选择	(38)
二、容积式流量计的安装	(40)
三、容积式流量计的使用与维护	(41)
第三章 速度式流量计	(43)
第一节 叶轮式流量计	(43)

一、涡轮流量计的工作原理和结构	(43)
二、涡轮流量计理论模型和特性分析	(47)
三、涡轮流量计的特点和安装使用	(51)
四、分流旋翼流量计	(57)
五、水表	(60)
第二节 电磁流量计	(63)
一、电磁流量计的测量原理	(64)
二、电磁流量计的励磁方式	(64)
三、电磁流量计的结构和分类	(68)
四、电磁流量计的选用、安装、运行和维护	(80)
第三节 旋涡流量计	(87)
一、涡街流量计测量原理	(88)
二、涡街流量计的结构、分类	(89)
三、涡街流量计的主要参数	(95)
四、涡街流量计的选型和安装使用	(98)
五、涡街质量流量计	(102)
六、其他旋涡流量计	(103)
第四节 超声流量计	(112)
一、传播速度差法超声流量计测量原理	(112)
二、多普勒超声流量计	(123)
第四章 节流式流量计	(128)
第一节 理论基础和流量公式	(129)
一、测量原理和流动情况	(129)
二、不可压缩流体流量公式	(130)
三、可压缩流体流量公式	(131)
第二节 标准节流装置	(132)
一、标准节流件	(133)
二、取压方式和取压装置	(137)
三、标准节流装置的管道条件	(140)
第三节 标准节流装置系数的确定和不确定度估计	(145)
一、标准孔板的 C 和 ϵ 及其不确定度	(146)
二、标准喷嘴的 C 和 ϵ 及其不确定度	(148)
三、长径喷嘴的 C 和 ϵ 及其不确定度	(148)
四、文丘里管和文丘里喷嘴的 C 和 ϵ 及其不确定度	(149)
五、流量测量的不确定度估计	(149)
第四节 标准节流装置的计算	(151)
一、计算命题和计算公式	(151)
二、第一类命题计算步骤	(151)
三、第二类命题计算步骤	(153)

四、计算实例	(155)
第五节 节流式流量计的安装与使用	(162)
一、节流装置的安装	(162)
二、差压信号管路的安装	(164)
三、节流式流量计的使用	(166)
第六节 非标准节流装置	(167)
一、用于低雷诺数的节流装置	(167)
二、用于测量脏污介质的节流装置	(169)
三、具有低压力损失的节流装置	(170)
四、线性孔板	(172)
第七节 定值标准节流装置	(173)
一、定值节流装置	(173)
二、可换孔板	(173)
第五章 其他差压式流量计	(174)
第一节 皮托管和均速管	(174)
一、皮托管	(174)
二、均速管流量计	(176)
第二节 浮子流量计	(179)
一、结构原理与流量公式	(179)
二、浮子流量计的刻度换算	(181)
三、浮子流量计的结构分类	(186)
四、浮子流量计的特性和特点	(191)
五、浮子流量计安装使用	(192)
第三节 楔形流量计	(195)
一、结构原理和特性	(195)
二、流量公式	(196)
第四节 弯管流量计	(197)
一、弯管流量计的流量公式和流量系数	(197)
二、弯管流量计的特点	(199)
三、其他形式的弯管流量计	(199)
第五节 靶式流量计	(200)
一、靶式流量计的工作原理	(201)
二、靶式流量计的流量系数	(202)
第六节 V 锥体流量计	(204)
第六章 质量流量计	(206)
第一节 直接式质量流量计	(207)
一、科里奥利质量流量计	(207)
二、热式质量流量计	(216)
第二节 间接式质量流量计	(227)

一、组合式质量流量计	(227)
二、补偿式质量流量计	(229)
三、间接式质量流量计的特点和选用	(230)
第三节 其他质量流量测量方法	(232)
一、差压式质量流量计	(232)
二、叶轮式质量流量计	(233)
三、其他直接式质量流量计	(234)
第七章 流量标准装置	(235)
第一节 概述	(235)
一、流量计量与测试技术在国民经济建设中的意义	(235)
二、流量测量的基本原理	(236)
三、流量计量器具传递系统	(236)
四、流量标准装置的分类	(236)
五、流量标准装置的用途	(239)
六、流量计标定技术发展的趋向	(239)
第二节 静态质量法液体流量标准装置	(241)
一、静态质量法液体流量标准装置结构和原理	(241)
二、浮力修正问题	(242)
三、密度测量问题	(243)
四、称量用的标准秤臂比系数 K 的测量	(246)
五、静态质量法对测量时间的修正	(248)
第三节 动态质量法液体流量标准装置	(250)
一、装置的结构和原理	(250)
二、动态质量法流量标准装置的特点	(250)
三、关于动态效应及对时间的修正问题	(251)
第四节 静态容积法液体流量标准装置	(252)
一、静态容积法装置的结构和原理	(252)
二、装置的技术要求	(253)
三、装置不确定度分析	(256)
第五节 动态容积法液体流量标准装置	(263)
一、动态容积法装置的结构和原理	(263)
二、动态容积法对时间的修正	(266)
三、动态容积法流量装置的特点	(267)
第六节 标准体积管法流量装置	(268)
一、标准体积管的分类及基本结构和原理	(268)
二、标准体积管标准段的容积值计算的数学模型	(273)
三、双时间脉冲插值法	(275)
第七节 水表试验装置	(277)
一、装置结构	(277)

二、装置原理	(279)
三、水表试验装置的技术要求	(279)
四、装置检定方法	(280)
第八节 钟罩式气体流量标准装置	(283)
一、装置的结构与原理	(283)
二、钟罩内压力的产生	(285)
三、钟罩的补偿机构和调试方法	(286)
四、钟罩式气体装置的特点	(289)
第九节 p, V, T, t 法气体流量标准装置	(290)
一、常压气体流量标准装置	(290)
二、高压气体流量标准装置	(297)
三、用音速喷嘴测量气体流量的计算方法	(303)
四、文丘里喷嘴及其检定与检验	(308)
第十节 蒸汽流量标准装置	(311)
一、概述	(311)
二、饱和蒸汽流量标准装置结构和原理	(312)
三、装置的主要试验内容和技术关键	(313)
四、均相模型和分相模型	(313)
五、装置的特点	(317)
第十一节 两相流体流量计标准装置	(318)
一、概述	(318)
二、气液两相流体流量计标准装置	(318)
三、气固两相流体流量计标准装置	(320)
四、液固两相流体流量计标准装置	(321)
五、油气水三组分混合流体标准装置	(322)
第十二节 标准流量计法流量标准装置	(323)
一、装置的结构和工作原理	(323)
二、单台标准流量计与被检流量计串联的检测方法	(324)
三、用并联标准流量计的检测方法	(327)
四、标准流量计法检定流量计仪表系数换算到标准状态的方法	(328)
五、并联标准流量计的特点	(329)
六、标准流量计法装置的特点	(330)
第八章 流量标准装置的标定及其准确度计算方法	(331)
第一节 静态容积法质量法流量标准装置的标定及准确度计算方法	(331)
一、装置的技术要求	(331)
二、装置的检定条件	(332)
三、装置的标定	(332)
四、流量标准装置的不确定度	(348)
五、静态法水流量标准装置标定实例	(348)

第二节 动态法液体流量标准装置检定及其不确定度的计算方法	(349)
一、技术要求和标定条件	(349)
二、检定方法	(349)
三、装置不确定度	(351)
四、标定的实例	(351)
第三节 标准体积管的标定和不确定度评定	(352)
一、技术要求和标定条件	(352)
二、标准体积管的性能测试	(353)
三、标定系统及安装要求	(354)
四、标准体积管的示值标定	(355)
五、标准体积管标定实例	(356)
六、气体体积管标定及不确定度	(356)
第四节 钟罩式气体流量标准装置标定和不确定度计算方法	(361)
一、装置的技术要求	(361)
二、检定条件	(363)
三、检定项目和检定方法	(363)
四、装置的不确定度	(369)
第五节 p, V, T, t 法气体流量标准装置的检定	(371)
一、技术要求和标定条件	(371)
二、检定项目和方法	(372)
三、装置的测量不确定度	(375)
四、装置合成不确定度实例	(375)
第六节 三相流装置的标定	(376)
一、技术要求和标定条件	(376)
二、检定项目和检定方法	(376)
三、装置不确定度	(380)
四、标定实例	(381)
第七节 标准流量计法流量标准装置的标定方法	(383)
一、通用技术要求	(383)
二、计量性能要求	(383)
三、标定条件	(384)
四、检定方法	(384)
五、标准流量计法装置的不确定度	(387)
六、标定实例	(387)
第九章 流量标准装置的工艺设计与计算	(391)
第一节 概述	(391)
一、沿程阻力系数	(391)
二、局部阻力系数	(393)
三、装置试验管道的水力计算	(399)

第二节 水流量标准装置工艺设计和计算	(402)
一、装置的组成和技术指标	(402)
二、各试验管路流通能力和压头的计算	(404)
三、工作量器的设计与计算	(408)
四、换向器设计计算方法	(418)
五、水塔的工艺设计及计算	(422)
六、稳压容器的结构和设计计算	(428)
七、水池容积的确定和工艺要求	(430)
八、水泵房土建设计和工艺要求	(432)
九、控制系统的工艺设计	(434)
十、静态容积法水装置设计不确定度估算	(437)
第十章 油流量标准装置工艺设计和计算	(439)
第一节 油流量装置总体方案的设计	(439)
一、装置的主要技术指标	(439)
二、基本技术方案	(439)
三、总体工艺流程及阻力计算	(439)
四、装置准确度的估算和分析	(447)
五、装置的稳定性问题	(453)
第二节 计量器具的工艺设计和计算	(453)
一、称量法计量器具的设计	(453)
二、标准体积管法计量器具的工艺设计	(455)
三、标准流量计法计量器具的工艺设计	(456)
第三节 装置的控制和数据处理	(458)
一、油泵控制工艺	(460)
二、管路中各种阀门电动球阀的控制	(460)
三、稳压容器控制工艺的设计	(460)
四、计量器具的自动控制程序	(461)
五、控制台总体控制要求	(461)
六、计算机控制程序	(463)
第十一章 气体流量标准装置的工艺设计和计算方法	(465)
第一节 气体流量标准装置工艺设计	(465)
一、设计依据	(465)
二、装置的要求和技术指标	(465)
三、气体流量标准装置方案的论证	(467)
第二节 音速喷嘴气体流量标准装置工艺设计和计算	(474)
一、气体流量标准装置的组成及技术指标	(474)
二、传递标准——音速喷嘴或喷管的工艺设计和计算方法	(476)
三、储气缸容积的设计和计算	(482)
四、对比罐、滞止容器	(483)

(401)	五、用音速喷嘴检测流量计的方法	(484)
附录 节流装置质量流量测量相对不确定度估计式 (4-26) 的推导		
参考文献		
(404)	 流量计的流量测量	三
(411)	 流量计的流量测量	四
(412)	 流量计的流量测量	五
(413)	 流量计的流量测量	六
(414)	 流量计的流量测量	七
(415)	 流量计的流量测量	八
(416)	 流量计的流量测量	九
(417)	 流量计的流量测量	十
(418)	 流量计的流量测量	十一
(419)	 流量计的流量测量	十二
(420)	 流量计的流量测量	十三
(421)	 流量计的流量测量	十四
(422)	 流量计的流量测量	十五
(423)	 流量计的流量测量	十六
(424)	 流量计的流量测量	十七
(425)	 流量计的流量测量	十八
(426)	 流量计的流量测量	十九
(427)	 流量计的流量测量	二十
(428)	 流量计的流量测量	二十一
(429)	 流量计的流量测量	二十二
(430)	 流量计的流量测量	二十三
(431)	 流量计的流量测量	二十四
(432)	 流量计的流量测量	二十五
(433)	 流量计的流量测量	二十六
(434)	 流量计的流量测量	二十七
(435)	 流量计的流量测量	二十八
(436)	 流量计的流量测量	二十九
(437)	 流量计的流量测量	三十
(438)	 流量计的流量测量	三十一
(439)	 流量计的流量测量	三十二
(440)	 流量计的流量测量	三十三
(441)	 流量计的流量测量	三十四
(442)	 流量计的流量测量	三十五
(443)	 流量计的流量测量	三十六
(444)	 流量计的流量测量	三十七
(445)	 流量计的流量测量	三十八
(446)	 流量计的流量测量	三十九
(447)	 流量计的流量测量	四十
(448)	 流量计的流量测量	四十一
(449)	 流量计的流量测量	四十二
(450)	 流量计的流量测量	四十三
(451)	 流量计的流量测量	四十四
(452)	 流量计的流量测量	四十五
(453)	 流量计的流量测量	四十六
(454)	 流量计的流量测量	四十七
(455)	 流量计的流量测量	四十八
(456)	 流量计的流量测量	四十九
(457)	 流量计的流量测量	五十
(458)	 流量计的流量测量	五十一
(459)	 流量计的流量测量	五十二
(460)	 流量计的流量测量	五十三
(461)	 流量计的流量测量	五十四
(462)	 流量计的流量测量	五十五
(463)	 流量计的流量测量	五十六
(464)	 流量计的流量测量	五十七
(465)	 流量计的流量测量	五十八
(466)	 流量计的流量测量	五十九
(467)	 流量计的流量测量	六十
(468)	 流量计的流量测量	六十一
(469)	 流量计的流量测量	六十二
(470)	 流量计的流量测量	六十三
(471)	 流量计的流量测量	六十四
(472)	 流量计的流量测量	六十五
(473)	 流量计的流量测量	六十六
(474)	 流量计的流量测量	六十七
(475)	 流量计的流量测量	六十八
(476)	 流量计的流量测量	六十九
(477)	 流量计的流量测量	七十
(478)	 流量计的流量测量	七十一
(479)	 流量计的流量测量	七十二
(480)	 流量计的流量测量	七十三
(481)	 流量计的流量测量	七十四
(482)	 流量计的流量测量	七十五
(483)	 流量计的流量测量	七十六
(484)	 流量计的流量测量	七十七
(485)	 流量计的流量测量	七十八
(486)	 流量计的流量测量	七十九
(487)	 流量计的流量测量	八十
(488)	 流量计的流量测量	八十一
(489)	 流量计的流量测量	八十二
(490)	 流量计的流量测量	八十三
(491)	 流量计的流量测量	八十四
(492)	 流量计的流量测量	八十五
(493)	 流量计的流量测量	八十六
(494)	 流量计的流量测量	八十七
(495)	 流量计的流量测量	八十八
(496)	 流量计的流量测量	八十九
(497)	 流量计的流量测量	九十
(498)	 流量计的流量测量	九十一
(499)	 流量计的流量测量	九十二
(500)	 流量计的流量测量	九十三
(501)	 流量计的流量测量	九十四
(502)	 流量计的流量测量	九十五
(503)	 流量计的流量测量	九十六
(504)	 流量计的流量测量	九十七
(505)	 流量计的流量测量	九十八
(506)	 流量计的流量测量	九十九
(507)	 流量计的流量测量	一百

第一章

流量计量与测试技术基础

第一节 流量测量基本概念

一、流量与流量计

1. 流量

流量是单位时间内流过管道横截面或明渠横断面的流体量。若流体量以质量表示时,称“质量流量”,一般用 q_m 表示;流体量以体积表示时,称“体积流量”,一般用 q_v 表示。用数学表达式可以表示为

$$q_v = \frac{\Delta V}{\Delta t} = uA \quad (1-1)$$

$$q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho uA \quad (1-2)$$

式中: q_v ——体积流量, m^3/s ;

q_m ——质量流量, kg/s ;

V ——流体体积, m^3 ;

m ——流体质量, kg ;

t ——时间, s ;

ρ ——流体密度, kg/m^3 ;

u ——管内平均流速, m/s ;

A ——管道横截面积, m^2 。

如果流动是不随时间显著变化的,我们称之为定常流,式(1-1)和(1-2)中的时间 Δt 可以取任意单位时间。如果流动是非定常流,流量随时间不断变化,则式(1-1)和(1-2)中的时间 Δt 应足够短以致可以认为在该段时间内流动是稳定的。所以,流量的概念是瞬时的概念,流量是瞬时流量的简称。

2. 总量

在一段时间内流过管道横截面或明渠横断面的流体总量称为“累积流量”,也常被称为“总量”。在数值上它等于流量对时间的积分,数学表达式可以表示为

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

$$m = \int_{t_1}^{t_2} q_m dt \quad (1-4)$$

3. 流量计

测量管流或明渠流中流量或总量的仪器称为流量计。测量体积流量的称为“体积流量计”，如涡轮流量计、涡街流量计、电磁流量计等；专门测量质量流量的称为“质量流量计”，如科里奥利质量流量计、热式质量流量计等。其中，有的适用于测量高精度流量，如涡轮流量计、电磁流量计、科里奥利质量流量计等；有的适用于测量高精度总量，如容积式流量计、涡轮流量计、电磁流量计等。

二、流量的单位

在 SI 单位制中，体积流量的单位为米³/秒(m³/s)；质量流量的单位为千克/秒(kg/s)。

在工程中常用的流量单位有体积流量：米³/小时(m³/h)，升/小时(L/h)；质量流量：千克/小时(kg/h)，吨/小时(t/h)。

在英美制中常用的流量单位有体积流量：英尺³/秒(ft³/s)，英加仑/秒(UKgal/s)，美加仑/秒(US gal/s)；质量流量：磅/小时(lb/h)，磅/秒(lb/s)。

各种流量单位的换算关系如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 体积流量单位换算表

单位符号	米 ³ /秒	升/秒	米 ³ /时	升/时	英尺 ³ /秒	英加仑/秒	美加仑/秒
m ³ /s	1	1000	3600	3.6×10 ⁶	35.3	220	264.2
l/s	0.001	1	3.6	3600	35.3×10 ⁻³	0.22	0.2624
m ³ /h	278×10 ⁻⁶	278×10 ⁻³	1	1000	9.8×10 ⁻³	61.1×10 ⁻³	73.5×10 ⁻³
l/h	278×10 ⁻⁹	278×10 ⁻⁶	0.001	1	9.8×10 ⁻⁶	61.1×10 ⁻⁶	73.5×10 ⁻⁶
ft ³ /s	28.32×10 ⁻³	28.32	101.9	101.9×10 ³	1	6.23	7.48
UKgal/s	4.546×10 ⁻³	4.546	16.37	16.37×10 ³	0.1605	1	1.201
USgal/s	3.785×10 ⁻³	3.785	13.63	13.63×10 ³	0.134	0.833	1

表 1-2 质量流量单位换算表

单位符号	千克/时	千克/分	千克/秒	吨/时	磅/时	磅/秒
kg/h	1	16.7×10 ⁻³	278×10 ⁻⁶	0.001	2.205	612×10 ⁻⁶
kg/min	60	1	16.7×10 ⁻³	0.06	132.3	36.7×10 ⁻³
kg/s	3600	60	1	3.6	7.94×10 ³	2.205
t/h	1000	16.7	278×10 ⁻³	1	2205	612×10 ⁻³
lb/h	0.454	7.56×10 ⁻³	126×10 ⁻⁶	0.454×10 ⁻³	1	278×10 ⁻⁶
lb/s	1633	27.2	0.454	1.633	3600	1

三、流量计量常用术语

本节介绍在流量计量中的一些较常用的术语和指标。

1. 流量范围

流量计的流量范围是指流量计在正常使用条件下,测量误差不超过允许值的最大至最小流量范围。最大与最小流量值的代数差称为流量量程。最大流量与最小流量的比值通常称作流量计的量程比。

2. 特性曲线

流量计特性曲线是反映随流量变化流量计性能变化的曲线。特性曲线较常用的有两种不同表示形式:一种是表示流量计的某种特性(通常是流量系数或仪表系数,也有的是某一与流量有关的输出量)与流量 q 或雷诺数 Re 的关系;另一种是表示流量计测量误差随流量 q 或雷诺数 Re 的关系,这种特性曲线一般称为流量计的误差特性曲线。

流量计的特性曲线可以通过对流量计进行理论分析而得到,而更为准确可靠是对流量计进行检定得到,即在整个流量计的流量范围上进行一系列的实验得到。

3. 仪表系数

仪表系数 K 为单位体积流体流过流量计时,流量计发出的信号脉冲数,或单位体积流量流过流量计时,流量计发出的信号脉冲频率。其计算式为

$$K = \frac{N}{V} = \frac{f}{q_v} \quad (1-5)$$

式中: K ——流量计仪表系数, $1/\text{m}^3$ 或 $1/\text{L}$;

N ——流量计发出脉冲数,次;

V ——通过流量计的流体体积, m^3 ;

f ——流量计发出脉冲频率, Hz ;

q_v ——通过流量计的体积流量, m^3/s 。

仪表系数 K 是频率脉冲型流量计流量特性的主要参数,它由流量测量校验装置标定而得到。

4. 流量系数

流量系数 α 是许多流量仪表的流量公式中,用来表示流量与输出信号之间的一些不可知因素而引入的修正系数。例如差压式流量计、浮子流量计、均速管流量计、靶式流量计等等。一般它都由试验求得,像标准节流式流量计,由于前人已做了大量的实验研究并在此基础上已经形成标准化,所以流量系数只要通过查表就可得到。

5. 流出系数

流出系数 C 一般定义为实际流量与理论流量的比值,其数学表达式为

$$C = \frac{q_m}{q_{mt}} \quad (1-6)$$

式中: q_m ——实际质量流量, kg/s ;

q_{mt} ——理论质量流量, kg/s 。

流量计的流出系数由流量标准装置标定而得到。例如临界文丘里喷嘴,在流量标准装置上标定可得通过喷嘴的实际流量,通过计算可得通过喷嘴的理论流量。根据式(1-6)马上可得流出系数 C 。

在某些流量计(如节流式流量计)的流量公式中,流出系数 C 和流量系数 α 之间有以下关系:

$$\alpha = CE$$

图 1-7 (1-7)

式中: E ——渐近速度系数, $E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$;

β ——为节流件直径比, $\beta = d/D$;

d ——节流件孔径, m;

D ——管道内径, m。

6. 压力损失

流量计的压力损失将造成能量的消耗, 已是表征流量仪表性能的一项重要参数, 近年来越来越受到人们的重视而成为流量仪表选型的重要指标之一。

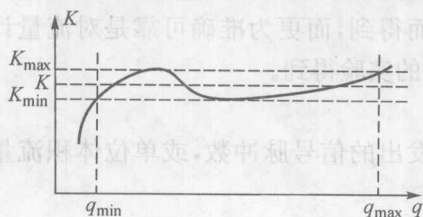


图 1-1 流量计特性曲线

流量计的压力损失越大, 为了克服压损的系统泵送能耗就越大, 有的大口径流量计的年运行能耗费用已远远超出流量计本身的价格。

7. 线性度

流量计的线性度是在整个流量范围内的流量特性曲线与规定直线之间的一致程度。对于用仪表系数 K 表示特性曲线的流量计, 可用仪表系数 K 在整个流量

范围内的偏差表示, 如图 1-1 所示。其数学表达式为

$$\delta = \pm \frac{K_{\max} - K_{\min}}{K_{\max} + K_{\min}} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中: δ ——流量计的线性度;

$K_{\max}$ ——流量范围内各测量点中仪表系数的最大值;

$K_{\min}$ ——流量范围内各测量点中仪表系数的最小值。

8. 重复性

流量计的重复性是指在下述条件下对同一被测的量进行多次测量所得结果的一致程度。这些条件是: 相同的测量方法测量过程, 相同的观测者, 相同的测量仪器, 相同的使用条件, 相同的地点以及在短期内的重复测量。应该指出, 重复性和准确度是两个完全不同的概念。准确度是指测量值与真值的偏差, 而重复性只表明测量值的分散程度。

9. 准确度(精确度)和误差

准确度(精确度)和误差都是表征测量仪表所测量的结果与被测量真值之间的吻合程度。仪表的准确度越高, 其示值越接近真值; 误差也就越小。在工程测量中, 流量计的准确度常用误差来表示。例如准确度为 0.2% 的流量计表示其测量误差为 $\pm 0.2\%$ 。

误差分绝对误差和相对误差。绝对误差是测量值与真值的差值, 相对误差是绝对误差与被测量真值的比值。在流量测量中常用两种方法来表示相对误差, 一种为测量上限的百分数(常用 %FS 表示, 有时也称为引用误差), 另一种为被测量值的百分数(常用 %R 表示, 有时也称为示值相对误差)。

误差按其性质可分为随机误差、系统误差和粗大误差。

随机误差是测量结果与在重复性条件下, 对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值之差。也就是在相同测量条件下多次重复测量同一量值时, 以不可预计的方式变化的测量误差的分量。

系统误差是在重复性条件下,对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值与被测量的真值之差。也就是在相同测量条件下多次重复测量同一量值时,保持固定不变的误差分量,或在测量条件改变时,按某一确定规律变化的误差分量。

粗大误差是由于人为的因素或仪器设备的问题,明显歪曲测量结果的误差。

在流量仪表的使用中还应特别注意两种不同性质的误差:基本误差和附加误差。

基本误差是流量仪表在规定的正常工作条件下所具有的误差。流量计生产厂家产品出厂检验所测得的误差、在实验室流量标准装置上校验所得到的误差等一般都是基本误差。因此,产品说明书上所列的测量误差、流量计检定证书上所列的准确度(误差)等均为基本误差。

附加误差是由于流量仪表在超出规定的正常工作条件下使用时所增加的误差。实际的工作条件往往难以达到规定的正常工作条件,因此常会带来测量的附加误差。对于流量仪表,工作条件中的流体条件是产生附加误差的主要因素。如流速分布畸变、多相流、非牛顿流体和非定常流等。它们对流量仪表准确度的影响是非常复杂的,有的影响量还因流量仪表的工作原理不同而有不同的结果。

流量仪表在现场使用的测量总误差是基本误差和附加误差的合成。

第二节 流量测量方法概述与分类

现代工业中的流量测量采用了各种各样的方法,应用于各种不同的场合和不同的测量目的。这些测量方法基于多种不同的测量原理,利用各种不同的输出信号变化来反映流体流量的变化。在这里对各种流量测量方法做一概述性的介绍,以使大家对当前一般采用的流量测量方法与仪器有比较完整的了解。

通常,以其测量原理,将流量测量方法分成四大类,利用伯努利方程原理来测量流量的流量计是以输出流体差压信号来反映流量;利用测量流速来得到流量的称为速度式流量测量方法;以测量流体质量流量为目的的测量方法予以标称为质量流量测量方法和质量流量计。下面将对上述四大类流量计分别作一一介绍。

在流体力学理论中,伯努利方程有很重要的地位,它说明了流体流线上各点之间的能量关系。若在流体流过的管路中安装一个使流通截面缩小的节流件,则流体流过该节流件会在节流件前后产生静压差 Δp 。设节流件处的流体流通截面为 A ,流体密度为 ρ ,根据伯努利方程和流体的连续性方程,可以导出流体的体积流量 q_V ,质量流量 q_m 分别为

$$q_V = CA \sqrt{\Delta p / \rho} \quad (1-9)$$

$$q_m = CA \sqrt{\rho \Delta p} \quad (1-10)$$

式中 C 为系数。

由上两式可知:若节流件前后的流通面积 A 和流体密度 ρ 一定,则流体流量与节流件前后差压的平方根成正比,这就是节流流量计的测量原理;若保持节流件前后差压恒定,则流量与节流件处的流通界面 A 成正比,这就是面积式流量计(转子流量计)的测量原理。

另一类依据伯努利方程为原理的流量测量方法是,测量其动压头得到流体的流速,进而得到流量值。它分别测量流体的全压头和静压头,两者之差即为流体动压头。这一类测量方法的仪表有毕托管和均速管流量计。