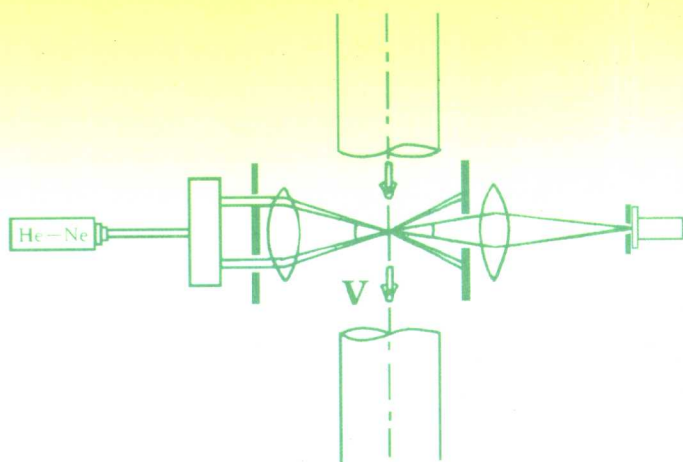


管道流量非接触测量 —方法与amp;技术

祝海林 邹旻 编著



气象出版社

管道流量非接触测量 ——方法与技术

祝海林 邹 旻 编著

气象出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了目前国内外流量非接触测量方法的原理、结构、性能、特点、线路和安装使用及维护经验等。其内容翔实、取材新颖,反映当今最新流量非接触测量技术和新型流量仪表,反映了流量测量技术发展的新动态。本书在选材上注意吸收有显著成效的科研成果和先进经验,全书共分六章,第一章概要介绍了流量测量的基本知识、仪表分类和选型原则,第二章至第六章分类阐述各种非接触流量测量方法和技术的测量原理、结构、性能特点等。

本书可供广大从事流量仪表及系统设计、开发、使用的工程技术人员阅读,也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

管道流量非接触测量:方法与技术/祝海林,邹旻编著.
北京:气象出版社,1999.1
ISBN 7-5029-2666-6

I. 管… II. ①祝…②邹… III. ①管道流动-流量测量
-不接触测量法②管道流量计-应用 IV. TH814

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 01227 号

管道流量非接触测量——方法与技术
祝海林 邹 旻 编著
责任编辑:顾仁俭
封面设计:王 冲 责任技编:谷 青 责任校对:古 今

气象出版社 出版

(北京海淀区白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京东光印刷厂

开本:850mm×1168mm 1/32 印张:5.75 字数:150 千字
新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销
1999 年 1 月第一版 1999 年 1 月第一次印刷
印数:1~1500 定价:11.00 元

前 言

在实现工业现代化、自动化的过程中,许多行业迫切地需要解决流量的测量和控制问题。流量测量和控制的好坏,直接影响到生产的安全、产品的产量和质量、以及能源消耗和成本,同时也影响到其它工艺参数的稳定与控制。

随着工业生产和科学研究的发展,流量测量技术发展十分迅速,新型流量测量方法和仪表不断涌现。由于测量对象的复杂性,传统的测量方法和仪表已不能令人满意,因此国内外在努力改进现有测量技术与仪表的同时,不断致力于研究探索新的流量测量方法,设计新型流量仪表。为了反映当今国内外流量非接触式测量技术的现状,帮助从事热工仪表技术等工作的人员使用、设计及开发新型流量非接触测量仪表,作者在参考了国内外多种新型样机和大量文献资料的基础上,特别介绍了流量非接触测量的一些新技术、新方法,如非接触式超声测量方法中的速度差法、宽声束时差法、时差法与多普勒法的组合、管段电阻法、温差电阻法、梯度相关法、参数估计法、压力差方法等等。

本书除介绍流量测量的基础知识和有关基本理论外,着重介绍了各类行之有效的检测方法、技术和仪表装置结构的原理、性能特点等知识。本书内容力求深入浅出、通俗易懂,可使读者对流量非接触式测量技术从理论到实践有较系统的了解,可供从事工业自动化技术工作、特别是流量检测技术工作的工程技术人员、工人以及大专院校有关师生参考。

全书由祝海林、邹旻编写,祝海林对全书进行统编。在编写本书的过程中,得到作者的博士导师、北京科技大学高澜庆教授的悉心指导与鼓励。北京大学无线电系姜天仕教授、北京化工大学自动化系流量研究室孙延祚教授、国家液压元件质量监督检验中心宋

学义高级工程师(教授级)、华中理工大学机械工程学院李壮云教授、钱祥生教授、湖北工学院徐声钧教授等曾给予许多帮助与指导。此外,作者还得到中国气象科学研究院曹鸿兴研究员,江苏石油化工学院张炳生、葛乐通、胡爱萍、陈平等老师的大力帮助。喻勇、周智青、向顺华、魏一鸣、焦书军、蒋成保、彭继华、姚新斌等博士及李方俊博士后曾与作者进行过不少学术探讨,使作者受益匪浅,在此一并向他们表示衷心的感谢。由于作者的水平有限,实践经验不足,书中难免有不当或错误,恳请广大读者指教。

作者谨识

1998年10月于龙城

Preface

A new concept of classification in flow measuring methods, namely, invasive and non-invasive ones, is suggested in this book. The principles, structures, performance characteristics, installing and servicing experiences etc. of existing domestic and foreign non-invasive flow measuring methods are presented systematically with substantial contents and new materials which reflect the up-to-date non-invasive flow measuring techniques and novel flowmeters of today, and the recent developments in the field. The achievements in scientific research having remarkable successes and advanced experiences are selected as materials for the book.

There are six chapters in this book. The fundamental knowledge, classification of flowmeters and principles for selection among them are outlined in the first chapter. The methods and techniques for various types of non-invasive flow measurement are expounded in detail from chapter two on. New non-invasive flow measuring techniques are emphasized such as Transit Speed Based Method, Transit Time with Wide Beam, Combination of Transit Time and Doppler in ultrasonic flow measuring method, Pipe-section Resistance Based Method, Temperature Difference and Resistance Based Method, Gradient Cross Correlation, Parametric Estimate Method and Pressure Difference Based Method with Non-invasive Pressure Measurement.

The measure and control of flow, as we know, are vital to many trades and professions in the process of carrying out mod-

ernization and automation in industries, since they affect directly the safety in production, output and quality of products, energy consumption and cost, and the stability or control for other technological parameters in the meantime. The book is for reference to engineers and technicians who are engaged in designing, developing and operating on flow instruments and the systems, and to teachers and students of related specialty in universities and colleges.

Zhu Hailin Zou Min

October, 1998

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 流体与流量	(1)
§ 1-2 流量测量的意义和特点	(3)
§ 1-3 流量检测技术的基本概念	(4)
§ 1-4 流量测量中常用的物理参数	(5)
§ 1-5 流量仪表主要性能参数	(9)
§ 1-6 管流的类型及流量分级	(12)
§ 1-7 流量测量方法及其分类	(15)
§ 1-8 流量检测仪表的选用	(18)
第二章 超声波流量测量方法	(24)
§ 2-1 概述	(24)
§ 2-2 基本原理及类型	(25)
§ 2-3 传播速度差法	(27)
§ 2-4 多普勒法	(37)
§ 2-5 波束偏移法	(47)
§ 2-6 流动超声法	(50)
§ 2-7 超声波流量测量新技术	(54)
§ 2-8 超声流量计的安装与误差修正	(60)
第三章 基于热学原理的流量测量方法	(65)
§ 3-1 概述	(65)
§ 3-2 边界层法	(65)
§ 3-3 温度升降法	(72)
§ 3-4 管段电阻法	(81)
§ 3-5 温差电阻法	(83)
第四章 激光测量方法	(92)

§ 4-1	概述	(92)
§ 4-2	测量原理	(93)
§ 4-3	光路系统	(95)
§ 4-4	信号处理系统	(104)
§ 4-5	测速装置主要部件	(108)
§ 4-6	激光双焦点测速技术	(110)
第五章	流动标记法	(112)
§ 5-1	示踪法	(112)
§ 5-2	核磁共振法	(114)
§ 5-3	互相关法	(117)
第六章	压力差方法	(150)
§ 6-1	两点压差法	(150)
§ 6-2	三点压差法	(153)
§ 6-3	管外压力非接触测量	(157)
附录 1	国产部分非接触式流量计型号、规格一览	(162)
附录 2	国外部分非接触式流量计型号、规格一览	(164)
附录 3	非接触式流量计国内部分营销单位名录	(166)
参考文献		
后记		

Methods and Techniques in Non-invasive Flow Measurement for Pipelines

CONTENTS

Preface

Chapter 1. Introduction	(1)
§ 1-1 Fluid and Flow	(1)
§ 1-2 Significance and Characteristics in Flow Measurement	(3)
§ 1-3 Fundamental Concepts for Flow Instrumenting Technique	(4)
§ 1-4 Physical Parameters Commonly Used in Flow Measurement	(5)
§ 1-5 Performance Indexes of Flow Instruments	(9)
§ 1-6 Types in Pipe-flow and Grades in Flow	(12)
§ 1-7 Invasive and Non-invasive Flow Measuring Methods	(15)
§ 1-8 Consideration of Flowmeters' Selection	(18)
Chapter 2. Non-invasive Ultrasonic Flow Measurement	(24)
§ 2-1 Outline	(24)
§ 2-2 Basic Principle and the Types	(25)
§ 2-3 Transit Speed Based Method	(27)
§ 2-4 Doppler Effect Based Method	(37)
§ 2-5 Beam Deflection Method	(47)
§ 2-6 Ultrasonic Emission Introduced by Flowing Fluid	(50)
§ 2-7 New Techniques in Ultrasonic Flow Measurement	(54)
§ 2-8 Arrangement and Error Correction for Ultrasonic Flowmeters	(60)
Chapter 3. Non-invasive Thermal Flow Measurement	(65)

§ 3-1	Outline	(65)
§ 3-2	Boundary-layer Method	(65)
§ 3-3	Temperature-rise and Temperature-fall Based Method	(72)
§ 3-4	Pipe-section Resistance Based Method	(81)
§ 3-5	Temperature Difference and Resistance Based Method	(83)
Chapter 4.	Non-invasive Laser Flow Measurement	(92)
§ 4-1	Outline	(92)
§ 4-2	Operating Principle	(93)
§ 4-3	Photo-channel System	(95)
§ 4-4	Signal Processing System	(104)
§ 4-5	Main Parts in Velocity Measuring Device	(108)
§ 4-6	Laser Two-Focus Velocity Measurement	(110)
Chapter 5.	Non-invasive Moving-Mark Flow Measurement	(112)
§ 5-1	Tracer Techniques	(112)
§ 5-2	Nuclear Magnetic Resonance Technique	(114)
§ 5-3	Cross Correlation Flow Measuring Method	(117)
Chapter 6.	Non-invasive Flow Measurement Based on Pressure and Flow Relation	(150)
§ 6-1	Pressure Difference between Two Points	(150)
§ 6-2	Pressure Difference among Three Points	(153)
§ 6-3	Non-invasive Pressure Measuring Method	(157)
Appendices:		
Table 1.	Models and Specifications for Part of China-made Non-invasive Flowmeters	(162)
Table 2.	Models and Specifications for Part of Foreign Non-invasive Flowmeters	(164)
Table 3.	List of Part of Domestic Business on Non-invasive Flowmeters	(166)
References		
Postscript		

第一章 绪 论

§ 1-1 流体与流量

在我们周围,有空气、水、油、血液及煤气等各种流体,人体内的血液在循环,四周的空气在流动,日常生活需要有自来水和煤气的供给,废水、污水得从下水道排出,液压系统的运行与控制靠液压油来实现等等。可以说,流体与人们的生活及工业生产有着十分密切的关系。

一、流量

为了指导工业生产过程中的工艺操作、监视设备的运行情况以及对家用煤气和自来水进行收费管理,就需要经常知道在单位时间内,流体流过管道或通道中某处横截面的数量,即流量。流过的流体的数量按体积计算的称为体积流量(或容积流量),按质量计算的称为质量流量,按重量计算的称为重量流量。体积流量和质量流量的关系是

$$M = \rho Q \quad (1-1)$$

式中: M ——质量流量,即单位时间内流过流体的质量,单位为 g/s , kg/min , t/h ;

ρ ——流体的密度,单位为 kg/m^3 ;

Q ——体积流量,即单位时间内流过流体的体积,单位为 cm^3/s , L/min , m^3/h 。

在生产和科研中,有时需要知道某一段时间内流过流体的总量(总体积或总质量),即累积流量。它等于该时间内流量对时间的

积分,单位为 cm^3 , L , m^3 或 g , kg , t , 家用煤气表及水表测得的是累积流量。与累积流量相对应,有时也把体积流量 Q 与质量流量 M 称为瞬时流量。

在表示和比较流量大小时,要注意其单位和量纲,还应特别注意流体的体积受压力、温度等状态参数的影响。所以用体积流量表示流量大小时,应同时标明相应的流体压力和温度值(一般要求进行温度和压力补偿,特别在测量可压缩性气体的体积流量时)。另外,在实际应用中,仪表使用者真正需要知道的是单位时间内物料的“质量”而并非“体积”,因此对体积流量计应规定被测介质的工作压力、温度、密度等条件。为了对介质特性的变化进行补偿,必须配备一系列辅助装置,这样既增加了仪表的复杂性和成本,同时也影响其可靠性和精确度。特别对于宇宙航行来说,除应千方百计使仪表装置微小化、重量轻外,还必须减少辅助参数的测试项目,以便压缩额外数据对于通讯线路、计算时间或记忆容量的要求。因此,在生产实际中,特别在流体的温度、压力发生变化的场合或要求精确测量时,广泛采用质量流量来表示流量大小。

二、流量计

测量流量的仪表叫做流量计或流量仪。它能指示和记录某瞬时流体的流量值。专门测量体积流量的流量计称为体积流量计,测量质量流量的称为质量流量计。流量计经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。

计量表(总量计)是指测量流体总量的仪表。它能累计某段时间内流体的总量值。计量表通常作为经济核算、收费管理的依据。另外,还可以用流速计来测量流过管路流体的流量,即通过平均流速与管路通道之横截面积相乘,求出体积流量,再与密度相乘,即得质量流量。

§ 1-2 流量测量的意义和特点

工业生产和科学实验都离不开对工质数量的了解或对各种物质(原料)配比的控制。为保证产品质量、进行经济核算,对单位时间内物料的输送量(流量)或某段时间内物料的总输送量要精确计量和控制,并要求能及时地发出反映流量大小的信号。流量测量,不管是以计量为目的,还是用于过程控制,几乎涉及所有的领域。

在电力工业部门,对液体(水、油等)、气体、蒸汽等介质流量的测量和调节占有重要的地位。它不仅对保证电厂在最佳参数下运行有很大的经济意义,而且随着高温、高压、大容量机组的发展,流量测量已成为保证发电厂安全运行的重要环节。如在火电厂中,主蒸汽流量累积误差若为 $2\%\sim 3\%$,将引起煤耗计算误差 $10\text{g}/(\text{kw}\cdot\text{h})$ 左右,这对评价电厂的经济性会有很大影响;又如大容量锅炉给水流量短时间中断或减少,都可能造成严重的干锅或爆管事故,这就要求流量测量装置不但应做到准确计量,而且要及时地发出信号。

在石油工业部门,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,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,所以在化工工艺流程中流量的测量更显重要。

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及加热炉炉温控制等方面也离不开流量测量。

在轻工食品工业部门,食品原油、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计量,就更为大家所熟知了。

根据美国 Fisher Controls International 公司的统计数字,世界范围内用于流量测量系统的投资占全部监控仪表费用的 20.1% 以上,在用于过程控制仪表的费用中,流量仪仅次于温度仪居第二位。在 1993 年世界范围内工业测量仪表市场上,流量仪表占 41%,处于第一位。

综上所述,可见流量测量的广泛性和重要性。

流量测量的对象是流体,随着工业生产的发展,对流量测量和控制提出了更新、更多和更高的要求,被测流体的品种也越来越多。以测量对象而论,涉及到液体、气体,包括各种特种介质、非牛顿流体以及多相流体;以测量条件而论,有从高温到极低温,有低压、中压、高压甚至于超高压。另外,既有低粘度流体,也有高粘度的流体,以及粘污介质、矿浆、强腐蚀性介质的流量测量;流量范围从微小流量到大流量变化;以流动状态而论,有层流、紊流、脉动流等等。所以,流量测量工作极其复杂多样,用一种流量测量方法和仪表根本不可能完成各种流量的测量。为此,要根据不同的测量目的、被测流体的种类、流动状态和边界条件(包括管道内壁的粗糙度)及测试条件(如流体温度、直管段长度等情况),研究新的流量测量原理、方法和技术。

§ 1-3 流量检测技术的基本概念

流量检测技术涉及对测量对象(被测介质及管道、环境条件)、测量方法和测量仪表的研究。对被测介质的研究,主要是要了解它的电导率、密度、介电常数、声速、声阻抗、粘度、透光性能、流动状态等,还要研究被测对象的工况,如压力、温度及其变化情况、流体输送管道(或容器)的几何形状、粗糙度、尺寸等。

流量检测技术是通过某种敏感元件或机构把能够表示流量及其变化、且易于测取的物理量检测出来,这个物理量可能是电量参数,也可以是声速、能量衰减变化、静压力的变化等等,再把这些电的、非电的物理量采用相应的、简便而可靠的信号处理手段转换成流量信号。

由于被测介质的性质及其管道(容器)的特性不同,各物理参数的变化程度(灵敏程度)会有所不同,例如有的参数变化明显,有的变化不太明显,甚至看不出有什么变化。因此,需要选用最合适的、能够获得最大信息量的物理参数作为流量测量仪表的检测信号,并根据目前的科学技术水平(如电量和非电量的测试技术、材料情况、工艺水平)、仪表的成本等,权衡各种因素的利弊关系,采用最佳测量方法及测量仪表。

§ 1-4 流量测量中常用的物理参数

在流量测量及流量仪表选型时,往往需要知道反映被测流体属性和流动状态的各种物理参数,通常要考虑的流体物理参数有:密度、粘度、比热、雷诺数等。流体的这些物性值,应根据需要进行测量,或从手册等资料中查出,它们都与温度、压力密切相关。流量测量的一元元件的设计及二次仪表的校验,都是在一定的压力和温度条件下进行的,若实际工况与设计规定的范围不符,则需作相应的修正。

一、密度

流体的密度(ρ)是流体的重要参数之一。它表示单位体积内流体的质量,与地区的重力加速度无关。在一般工业生产中,流体通常可视为均匀流体,其密度可由下式求出:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-2)$$

式中： m ——流体的质量，单位为 kg；

V ——质量为 m 的流体所占的体积，单位为 m^3 。

由于流体分子之间存在一定的间隙，所以流体密度随温度、压力的改变而变化。在低压及常温下，压力变化对液体密度的影响很小，所以工程计算上往往可将液体视为不可压缩流体，即可不考虑压力变化对密度的影响；而气体的密度受温度、压力变化的影响较大，所以表示气体密度时，必须严格说明其所处的压力、温度条件。通常将单位质量流体所占据的体积称为比容，显然，比容与密度互为倒数关系。在工业测量中，有时还用“相对密度”这一参数。某体积均质流体的质量与标准状态（101.3kPa，4℃）下同体积的纯水的质量的比值，称为流体的相对密度。

二、粘度

当流体微团之间或层与层之间有相对运动时，流体本身由于存在内摩擦力而阻碍彼此分离的性质称为粘性。它是流体在外力作用下流动时，因为相互间发生相对运动所表现出的力的性质。粘性是流体的固有属性，只有在流动时才表现出来，静止（或相对静止）的流体中不呈现粘性。

不同的流体，其粘性不同。流体粘性的大小用粘度来表示，它是温度、压力的函数。一般说来，温度升高时，液体的粘度降低而气体的粘度则增加。粘度的表示方法常有下面三种，即动力粘度、运动粘度及相对粘度。

1. 动力粘度 μ

动力粘度又称为绝对粘度，它表示单位速度梯度时流体内摩擦力的大小，即