

# 超声波流量计的国内外研究现状

王贤妮

江西三川水表股份有限公司 335000

**摘要:**通过对流量计的历史进行概述,研究超声波流量计的国内外研究现状、发展背景,对于创造新型超声波流量计技术具有重要的现实意义,了解超声波流量计的国内外研究现状,可为工程技术人员投身研究指明了方向。

**关键词:**超声波流量计;国内外;现状

## 流量计的分类

流量计的发展历史大概要追溯到 1738 年,瑞士著名物理学家丹尼尔·伯努利发现可以通过差压法测量水的流量。后来,意大利物理学家文丘里发明了用文丘里管测量流量<sup>[1]</sup>。随后 1886 年美国发布第一个 TUF 专利,到 1938 年,第一台 TUF 在美国研制成功,它主要是用于飞机上的燃油流量的测量,只是直至二战后因喷气发动机的液体喷气燃料急需一种高精度、快速响应的流量计才使它获得真正的工业应用。如今,流量计已广泛用于石油开采、化工冶炼、国防科研等生活生产的各个领域<sup>[2]</sup>。

从流量计诞生到现在为止,根据力学、热学、声学、电学、光学、原子物理学等不同原理研制出的不同用途的流量计种类繁多,详细的分类如下图 1.1 所示。下面介绍几种常见常用的流量计——机械式流量计、电磁式流量计和超声波流量计。

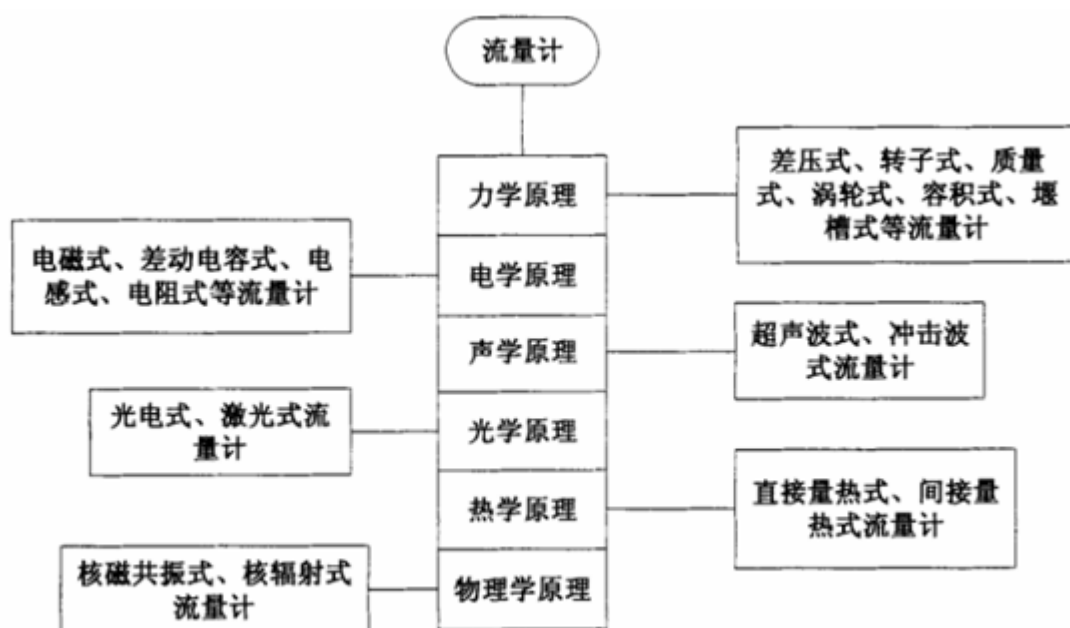


图 1.1 流量计分类图

### (1) 机械式流量计

机械式流量计利用机械测量元件把流体连续不断地分割成单个已知的体积部分，根据计量室逐次、重复地充满和排放该体积部分流体的次数来测量流量的体积总量<sup>[1]</sup>。其优点是成本低且简单易于实现，缺点是使用寿命短、结构复杂，尤其由于叶轮磨损和水中的杂质引起的堵塞等原因容易造成流量计瘫痪。

### (2) 电磁式流量计<sup>[3]</sup>

电磁流量计是利用法拉第感应定律研制成的，即导体在磁场中做切割磁力线运动时会产生感应电动势。导电性液体在垂直于磁场的非磁性测量管内流动时，与流体流动垂直的方向上就会产生感应电势，感应电动势的大小会随着流体流速的快慢变化而变化，再根据感应电动势与流速的关系测量流量。

电磁式流量计测量精度和灵敏度都较高，工业上多用以测量水、矿浆等介质的流量，可测量最大管径达 2m，而且压损极小。但是其对所测介质的电导率有要求( $>10\mu\text{s/cm}$ )，所以如气体、蒸汽等介质的流量测量则不能应用，且通常要求 220V 交流供电，电磁流量计造价较高、功耗较大，且信号易受外界磁场干扰，因此制约了其广泛应用。

### (3) 超声波流量计<sup>[4]</sup>

超声波流量计利用超声波在流动的液体中传播时，载有流体流量的信息的原理，通过检测穿过流体的超声波信号就可以得到所测流体的流速信息，最后

再根据相应原理换算成测量所需的流量。具体做法是：在被测管道的上下游安装了两个不分正负极性的配对的超声波换能器。上游的换能器发射一串超声波脉冲，经过流动的流体传播到下游换能器，下游换能器接收到超声波信号后，记录下超声波脉冲的相关信息，同理可记录下上游换能器接收到下游换能器发射的超声波脉冲的相关信息。通过记录的超声波脉冲的相关信息再结合相应的原理就可以换算成所要测量的流量。

超声波流量计应用范围广、适用性强、测量精度高。可以广泛地用于包括气体、液体以及固体物质的测量，适用于高温、高压、非导电、强腐蚀性、易爆和放射性等特殊介质流量的测量，克服了其他流量计应用范围的局限性。

随着 DSP(Digital Signal Processor)、IC(Integrated circuit)和嵌入式等技术的高度发展，流体流量测量技术也朝着智能化、便捷式、多样性的方向发展，精度也得到了显著地提高。其中电磁式和超声波式流量计的发展前景最大。

## 超声波流量计的国内外研究现状

国外研究超声波流量计的历史比较长，要追溯到上个世纪 20 年代，德国科学家 Rutten 在他的专利中提出了用两个超声波信号的时差法来测量流速的可能性，但时差法超声波流量计时间间隔的测量精度至少要达到 ns 级，这在当时是很难达到的<sup>[5]</sup>。

1955 年，基于频差法的 MAXSON 超声波流量计在美国问世，并成功的应用于飞机燃料流量的测量，其技术中利用多次脉冲循环测量的方法来提高测量的准确性，但是其导致测量周期长，响应速度慢，从而降低了系统的稳定性和可靠性。

随后 1965 年，基于超声波时差法和波束偏移法的流量计也相继诞生，与此同时，利用多普勒原理研制的超声波流量计问世。

20 世纪 70 年代，前苏联科学家对管道内流体的流速分布规律进行了深入细致研究，指出管道内流体有层流和紊流两种运动状态，并给出了两种状态下流速修正系数的理论计算公式。另外，伴随大规模集成电路技术的迅猛发展，IC(Integrated circuit)技术和高性能 PLL(Phase-Locked Loop)锁相环技术的出现与应用，使得高精度时间间隔的测量成为可能，超声波流量测量技术一些以前的弱点得到了很大的改善<sup>[6]</sup>。超声波流量计的稳定性和精确度得到大幅改进，性能开始日趋完善，因此基于锁相频差法超声波流量计得以应用。它的测量周期短，响应速度快，而且几乎完全消除了超声波声速对测量精度的影响，因而这种方法成为当时大管径超声波流量计流量测量的主要手段，但其在测量小管径小流量时精度总是难以达到要求。

到了到 20 世纪 80 年代，伴随微处理器的出现和发展，开始出现以单片机作为 CPU 的超声波流量计。这让超声波流量计朝着智能化、高性能的方向发展，并使其在人们的生产生活各个领域得到了广泛长远的应用。最近二十几年，伴随工艺技术的提高，微处理器的功能越来越强大，数字信号处理技术和高速数字控制芯片越来越成熟，并且随着数字信号处理 DSP 芯片、现场可编程逻辑门阵列 FPGA 的出现和发展，使得超声波流量计控制芯片能够进行复杂的时序控制和数据运算处理功能，简化了很多复杂的电路设计，并且可以设计出更加友好方便的人机操作界面<sup>[7]</sup>。特别，高精度时间数字转换芯片 TDC 的出现，使超声波流量计的高精度时差测量达到 ps 级。二十一世纪，超声波流量计朝着更高性能、更加智能化的方向发展，使其服务于生产生活的各个领域。





流量量程：0.01~25m/s  
分辨率：0.025cm/s  
重复性：0.15%读数

图 1.2 德国 FLEXIM 的 ADM6725



流量量程：0.01~25m/s  
分辨率：0.25cm/s  
重复性：0.15%读数

图 1.3 英国 Katronic 的 KATflow100

纵览国际超声波流量计产品，美国、日本、荷兰、德国、英国、加拿大等国家处于领先水平。它们在超声波流量计研究和生产方面具有较高技术和丰富的经验，主导着其发展趋势，占据了大部分市场份额。较著名的有德国的 FLEXIM 公司、英国的 Katronic 公司、日本的富士公司等。图 1.2 和 1.3 中分别介绍两种国外的超声波流量计及其流量性能。

国内超声波流量计的研究起步比较晚，到六七十年代机械工业部上海工业自动化仪表研究所、北京大学才开始相继研制，改革开放后，国内仪表厂从国外引进相关技术，生产出了具有 80 年代国际水平的仪表。并于 1994 年正式出版了由中国计量科学院组织有关专家起草，分别经国家技术监督局和建设部批准的“JJG198-94 速度式流量计”的国家计量检定规程和“JJG0002-94 超声流量计”的部门计量检定规程，这是我国超声流量计发展的一个重要的里程碑。虽然国内对超声波流量计的研究只有短短几十年历史，但在广大科研工作者的努力下，国产超声波流量计取得了巨大进步，一些厂家研制的超声波流量计已经投入使用。现在国内研制和生产超声波流量计的厂家较多，如上海领都仪表科技有限公司、大连海峰仪器发展有限公司、大连索尼卡有限公司、新天科技股份有限公司、唐山大方电子技术有限公司、南京卓玛机电有限公司、江西三川水表股份有限公司等。市场上销售的 AVF 型超声流量计精度小于 1%，可测管径 20~6000mm；FV2000B33 型，精度小于 1%，可测管径 15~6000mm。

- [1] Zhang Hai-lan, Lin Wei-jun, Zhang Cheng-yu. An ultrasonic flowmeter in production boreholes of oilfields [C].2005 IEEE Ultrasonic Symposium,2005:1496~1499.
- [2] 中国城镇供水协会编. 水表装修工[M].中国建材工业出版社, 2004.
- [3] 崔韶鹏. 浅谈电磁流量计[J].计量与测试技术, 2009, 36(8): 48~50.
- [4] 张慧. 基于 FPGA 的高精度超声波液体流量计研究[D].重庆理工大学, 2010
- [5] Lawrence C. Lynnworth. Ultrasonic Measurement for Process Control [M]. Boston:Academic Press,1989.
- [6] B. Iooss, C. Lhuillier, H. Jeanneau. Numerical simulation of transit-time ultrasonic flowmeters: Uncertainties due to flow profile and fluid turbulence [J]. Ultrasonics, 2002,40(9): 1009~1015.
- [7] 柏久宇. 超声波检测技术的热能表研究测量技术[D].大连交通大学, 2007.
- [8] 王池. 我国流量计发展状况[J].现代计量测试, 2008, (2):8~11.