

电磁流量传感器与电磁电子水表

宁波水表股份有限公司 姚灵

一. 概述

电磁电子水表是新型电子水表系列产品中的重要成员之一,而电磁流量传感器则是电磁水表中最为关键的核心部件。随着全球淡水资源的日趋紧缺,作为节约用水和科学用水管理的必备计量器具——水表,它的性能和作用正在受到人们的关注和期待。

电磁流量传感器非常适合封闭满管道中饮用冷热水和非饮用水的计量之用。其主要特点有: 1) 仅能用于导电液体的流量测量,被测液体电导率在一定范围内变化不影响测量结果; 2) 测量结果与被测液体的密度、粘度、温度、压力等物性参数无关; 3) 传感器测量管内无机械运动和阻流部件,压力损失很小,测量可靠; 4) 流量测量范围度大,可调范围可达 1500:1 以上; 5) 从原理上看,传感器具有良好的线性特性,因而测量准确度比较高; 6) 与其它流量传感技术相比,其上游的直管段可以较短; 7) 传感器反应速度较快,可测脉动流量; 8) 但易受外界电磁干扰和被测液体极化电势干扰等的影响。

电磁流量传感器主要由测量管和励磁线圈等组成,其中测量管是由电极、衬里、导管等构成。大、小口径电磁流量传感器结构见图 1,大、小口径电磁电子水表外形见图 2。

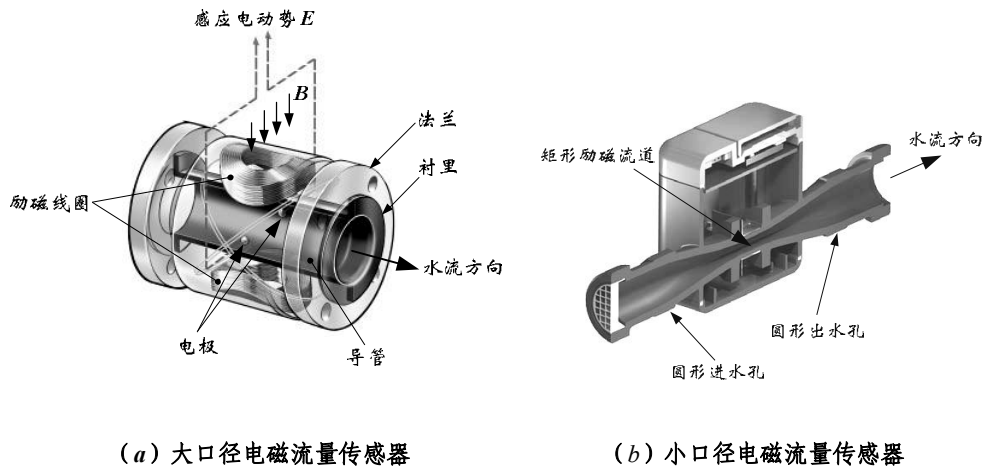


图 1 电磁流量传感器常用结构示意图



(a) 大口径电磁水表



(b) 小口径电磁水表

图 2 电磁电子水表外形图

二. 电磁流量传感器工作原理

1. 工作原理

根据法拉第电磁感应定律，当导电液体介质（如饮用水）流过非导磁体测量管切割由励磁磁场产生的磁力线时，导电液体介质就会产生感应电动势，通过放置在与磁力线和测量管相互垂直的一对电极可将感应电动势引出，见图 3。由于感应电动势 E 与励磁磁场 B 的强度、介质的平均流速 \bar{v} 成正比，因此可从感应电动势的强弱来测定被测介质的流速，见下式

$$E = k D B \bar{v} \quad (1)$$

式中 E —感应电动势，V；

k —调整系数；

D —测量管内径，m；

B —磁感应强度，T；

\bar{v} —测量管内导电液体介质平均流速，m/s。

而流量传感器输出的体积流量 q_v 则为

$$q_v = \frac{\pi D}{4kB} E \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2)$$

因此感应电动势与体积流量之间的关系可表为

$$E = \frac{4kB}{\pi D} q_v \quad (3)$$

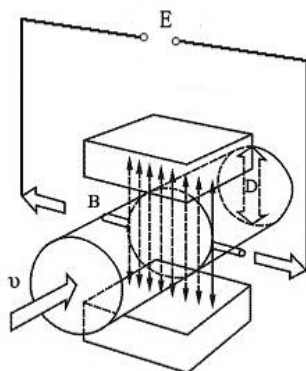


图 3 电磁流量传感器工作原理图

2. 测量的基本条件

从被测管道内流体实际流动状态和磁场分布情况来考虑,并根据对电磁流量传感器的理论分析,可得到其基本微分方程为

$$\nabla^2 U = \text{div}(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (4)$$

这是一个二阶线性偏微分方程,必须加入适当的边界条件和初始条件才能得到确定的解,这些条件正是电磁流量传感器充分和必要的设计、制造与工作条件:

- 1) 励磁磁场的磁力线方向与两电极轴线、测量管中心轴线(即流体流动方向)三者应相互垂直;
- 2) 导电液体的电气性质(电导率)应为均质;
- 3) 被测液体为不可压缩流体;
- 4) 测量管沿轴线方向的无限长范围内励磁磁场应为均匀分布;
- 5) 测量管内壁应为绝缘材料组成,管壁处流速应为零;
- 6) 被测流速应以测量管中心轴线对称分布,并且是矢径 r 的函数。

三. 电磁电子水表主要构成及主要性能指标

电磁电子水表是在电磁流量传感器基础上增加信号处理电路、嵌入式微计算机系统及数据通信等部件组成的。其工作原理框图见图 4。

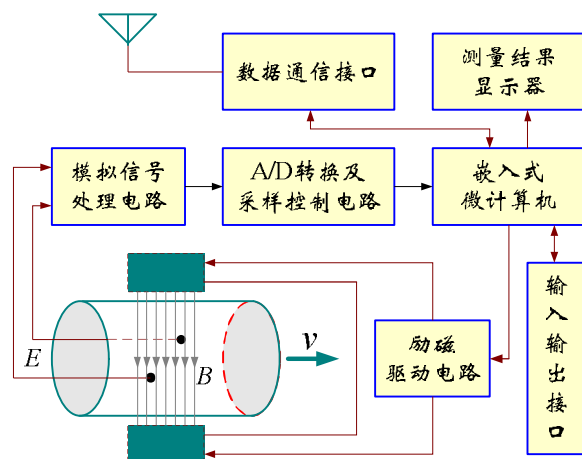


图 4 电磁电子水表工作原理框图

根据《封闭满管道中水流量的测量 饮用冷水水表和热水水表》国家标准的规定，电磁电子水表的性能指标主要包括：1) 流量测量范围；2) 最大允许误差；3) 最大允许工作压力；4) 水表防护等级；5) 被测介质温度范围；6) 电池使用寿命；7) 数据通信功能等。

除了上述性能指标外，对电子水表尚需进行较为严格的各项环境试验，主要有：电磁环境试验（如：静电放电、电磁敏感性、静磁场、电源电压变化、短时功率降低、浪涌抗扰度、电脉冲群等）和气候环境试验（如：高温、低温、交变湿热等），对于移动式电子水表还需进行机械环境试验（如：随机振动、机械冲击等）。

现以 WATERFLUX3070 型号为例，电磁电子水表目前所能达到的主要性能指标为：1) 测量口径范围：DN25 ~ 600；2) 测量准确度：测量值的 $\pm 0.2\% + 0.5\text{mm/s}$ ；3) 优良的小流量测量特性，并可进行双向流测量；4) 水表前后无需测量用直管段、过滤网、整流器等附加设施（见图 5 的安装照片）；5) 低功耗设计，内置电池使用寿命最长可达 15 年；6) 水表的传感器部分可埋地工作，安装时无需建造测量井；水表防护等级最高可达 IP68；7) 两路脉冲信号输出，可选用 GPRS/GSM 远传通信方式；8) 内置参比（接地）电极，无需专用接地环；9) 用于水费结算时，其计量特性符合 GB/T 778 - 2007 标准的要求；10) 内置供电电池：1 ~ 2 节锂电池（可外加扩展电池包）。



图 5 WATERFLUX3070 型电磁电子水表安装图

四. 权重函数的物理意义

在对式 (4) 解析过程中, 引入一个与点坐标位置和电极大小有关的、被称为权重函数的概念。对于二维坐标, 可得到如下电磁流量传感器两测量电极之间电位差的表达式

$$E = \frac{2}{\pi R} \iint B(r, \theta) v(r, \theta) W(r, \theta) dr d\theta \quad (5)$$

式中 W —权重函数;

v —被测液体的速度函数;

B —磁感应强度函数。

其中以直角坐标表达的二维权重函数 W 为

$$W = \frac{R^4 + R^2(x^2 - y^2)}{R^4 + 2R^2(x^2 - y^2) + (x^2 + y^2)^2} \quad (6)$$

式中 R —测量管半径。

权重函数的物理意义是: 相同流速的流体微元在均匀磁场中运动, 虽然产生相同大小的感应电动势, 都对电极上的电位差有所贡献, 但贡献的大小却是不同的。权重函数是用来表示各流体微元对电极间电位的贡献程度, 它是所在位置的函数。图 6 是按式 (6) 绘制的二维权重函数分布图, 从图中可知, 电极附近的感应电动势对电极间的流量信号贡献比较大。

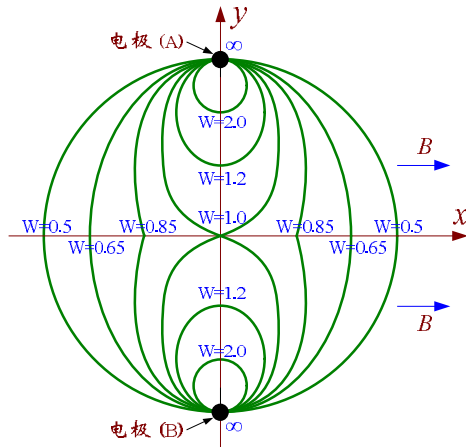


图 6 二维权重函数分布图

权重函数是一个与测量段尺寸、几何形状（包括电极）有关的空间函数，它与流速场的分布和励磁场的分布状态无关，它所反映的是测量段电场的电位分布。

图 7 是电磁流量传感器沿 z 轴和 y 轴方向的权重函数分布示意图。图中表明， W_y 随着离开电极所在截面距离的增大（即沿着 z 轴方向移动）而迅速衰减，当距离大于 $0.25D$ 时， W_y 值实际已接近为零。这表明在离电极平面较远处的管内空间，流体产生的感应电动势对电极信号输出的贡献已微不足道，因而可大大缩短传感器励磁磁场在 z 轴方向的长度。

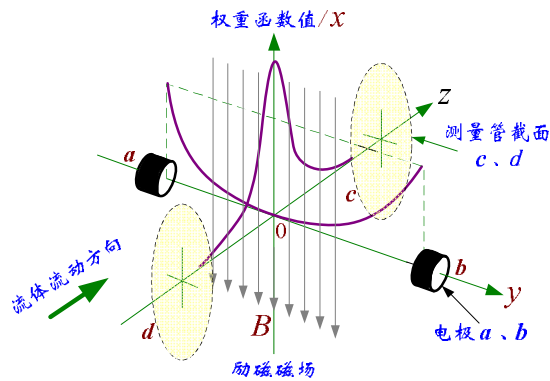


图 7 权重函数在 z 轴和 y 轴上的分布示意图

五. 结语

我国是淡水起源严重缺失的国家之一，加强对淡水资源的计量与测控，开展节约用水和科学用水管理是唯一正确的解决之道。如何不断提升水计量器具的测量准确度、降低水表产品压力损失的指标、减少供水管网电力消耗、实现自动抄表及测控自动化，都是水表制造企业所必需面对及努力予以解决的。电磁流量传感器和电磁电子水表等新一代流量传感技术和

电子水表的出现必将为上述问题的圆满解决提供强有力的技术保障和支持。

水表产品的应用领域目前已从以饮用水计量为主逐步向饮用冷热水、供热热水、灌溉用水、中水与污水、工业用水等领域发展；代表水计量技术最核心部分的传感技术也从传统的叶轮速度式和活塞容积式传感技术向电磁、超声、射流、涡街等新型流量传感与信号处理技术等方面发展。水计量技术与测控自动化的逐步推进与成熟，水表产品的门类和品种也日趋广泛性和多样性，水表产业已成为涵盖机械、电子、计算机、通信、传感与信号处理、流体力学及材料等多学科的综合性产业，产品也从单一终端产品向网络化和系统集成化发展。

水表产品应用领域的扩展以及技术的进步与创新，必将会给水资源的有效测控和管理提供十分有效的方法和手段。

参考文献:

1. 姚灵. 电子水表传感与信号处理技术. 北京: 中国质检出版社, 2012
2. GB/T 778.1~3—2007《封闭满管道中水流量的测量 饮用冷水水表和热水水表》
3. 蔡武昌、马中元等编. 电磁流量计. 北京: 中国石化出版社, 2004

2012年8月20日

注: 本文曾在《上海测试计量》杂志 2012 年第 6 期上发表

作者简介与联系方式:

姚灵 男, 1953.9 出生, 宁波水表股份有限公司技术总监, 宁波大学兼职教授, 中国计量协会水表工作委员会副秘书长, 教授级高级工程师, 享受国务院政府特殊津贴专家待遇, 企业博士后合作导师等

邮箱地址: 13806630959@139.com ; 电话: 0574-88195868

联系地址: 宁波市 江北区 北海路 268 弄 99 号 宁波水表股份有限公司; 邮编: 315032