

# 电磁流量计

黄宝森 孔昭育 景永芳 编著  
施希行 沈海津

原子能出版社

Dianciliuliangji

## 内 容 提 要

本书对电磁流量计作了比较系统、详细的介绍。

全书共分六章。第一章概述电磁流量计的特点和发展情况；第二、三章介绍电磁流量计的基本工作原理和变送器的结构；第四章详细分析了转换器的线路；第五、六章介绍了电磁流量计安装使用、维修和排除故障等方面的基本知识和经验。

本书可供广大安装、操作和维修仪表的工人及有关工程技术人员参考。

### 电 磁 流 量 计

黄宝森 孔昭育 景永芳 编著  
施希行 沈海津

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京印刷一厂印刷

(北京西便门)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32 ·印张10 1/4 ·字数214千字  
1981年10月第一版·1981年10月第一次印刷

印数001—5000 ·统一书号：15175.334

定价：1.25元

## 前 言

电磁流量计是一种测量导电介质体积流量的感应式仪表。由于它具有一系列优点，电磁流量计已广泛应用于化工、化纤、矿冶、造纸、制糖、给水、污水处理、港口疏浚、水工机械等部门。随着我国国民经济的发展和自动化程度的不断提高，电磁流量计的应用范围也不断扩大。为了便于大家系统了解电磁流量计，不断提高使用水平，我们编写了这本书。

在编写时，我们力求深入浅出、条理清楚、通俗易懂。第二章介绍基本原理和第三章第六节介绍非均匀型电磁流量变送器时，都尽量避免复杂的数学推导，而着重于物理概念和实用意义。第三章从分析变送器的典型结构入手，介绍了各种类型的变送器和国外有关的先进技术。第四章结合转换器的实际线路，逐一分析了其单元电路，同时介绍了最近试制投产的LDZ-III型转换器。第五、六章从实际使用出发，详细介绍了电磁流量计的安装、维修等方面的知识和经验，并列成表格，以便于读者解决实际工作中所遇到的问题。

由于我们的水平有限，书中肯定会有不少缺点和错误，希望读者批评指正。

本书第一、二章由孔昭育同志编写；第三章由黄宝森同志编写；第四章由施希行、沈海津同志编写；第五、六章由景永芳同志编写，王松良同志提供了有关资料。最后由蔡武昌同志审阅了全稿。本书编写过程中曾得到天津自动化仪表三厂、开封仪表厂、武汉光明仪表厂、上海自动化仪表研究所、上海光华仪表厂等有关单位的大力支持，在此深表感谢。

编 者

# 目 录

第一章 概述	1
第一节 电磁流量计的发展概况	1
第二节 电磁流量计的特点	4
第三节 电磁流量计的发展趋向	7
一、非均匀磁场的电磁流量变送器	7
二、变送器、转换器的互换	9
三、低电导率液体的流量测量	9
第二章 电磁流量计的基本原理	13
第一节 基本原理	14
一、法拉第电磁感应定律	14
二、电磁流量变送器的工作原理	15
第二节 基本方程及权重函数	22
一、基本方程	22
二、长筒流量计及其假设条件	23
三、长筒流量计的权重函数	25
第三节 被测介质流动状态对测量的影响	28
一、流速分布的影响	28
二、流速的上、下限	30
第四节 磁场边缘效应对测量的影响	31
一、绝缘管壁	32
二、导电管壁	34
三、液态金属的边缘效应	35

四、流速分布状态对边缘效应的影响 .....	36
第五节 被测介质电导率对测量的影响 .....	38
一、变送器的内阻 .....	39
二、转换器的输入阻抗 .....	42
三、被测介质电导率的影响 .....	43
第六节 电磁流量计的干扰 .....	47
一、90°干扰 .....	48
二、同相干扰 .....	54
第三章 电磁流量变送器 .....	58
第一节 变送器的总体结构 .....	60
第二节 测量管及衬里 .....	62
一、测量管 .....	62
二、衬里 .....	64
第三节 激磁系统 .....	66
一、磁路结构 .....	66
二、变送器的磁路分析 .....	71
三、电磁场的损耗 .....	77
四、主要电磁参数的计算 .....	82
第四节 电极和干扰调整机构 .....	88
一、电极材料 .....	88
二、电极结构及其安装形式 .....	90
三、具有清洗作用的电极结构和清洗电极的方法 .....	93
四、干扰调节机构 .....	97
第五节 各种类型的电磁流量变送器 .....	100
一、小口径电磁流量变送器 .....	101
二、大口径电磁流量变送器 .....	104
三、耐磨损的变送器 .....	106

四、LDK型矿浆电磁流量变送器	110
五、具有接地电极的变送器	114
六、环形同心电极变送器	119
七、防爆型电磁流量变送器	122
八、插入型电磁流量变送器	123
九、潜水型电磁流量计	125
十、双管电磁流量计及其应用	131
十一、直流激磁电磁流量计	133
十二、电容式电磁流量变送器	136
十三、电磁血液流量计及电磁流速计	138
第六节 非均匀磁场型电磁流量变送器	142
一、短筒流量计的权重函数	143
二、权重函数的物理意义及其应用	145
三、非均匀型变送器	152
四、实流试验及试验结果的讨论	158
第四章 电磁流量转换器	164
第一节 LDZ-I型电磁流量转换器	165
一、工作原理	165
二、单元电路分析	169
三、转换器的一般调整和校验	191
四、主要技术指标	196
第二节 LDZ-II型电磁流量转换器	197
一、工作原理	198
二、单元电路分析	200
三、转换器的一般调整和校验	207
四、主要技术指标	209
第三节 LDZ-III型电磁流量转换器	209

一、方框图及工作原理 .....	210
二、互换原理 .....	216
三、线路分析 .....	217
四、调试和校验 .....	245
五、主要技术指标 .....	250
第五章 电磁流量计的安装使用 .....	252
第一节 电磁流量计的选用 .....	252
一、电磁流量计的一般选用原则 .....	252
二、特殊测量条件 .....	255
第二节 安装环境的选择 .....	258
一、变送器安装环境的选择 .....	258
二、转换器安装环境的选择 .....	259
第三节 变送器在管道上的安装 .....	260
一、上游直管段要求与闸阀开度的影响 .....	260
二、垂直安装 .....	265
三、水平安装 .....	266
四、在绝缘管道上的安装 .....	269
五、大口径变送器的安装 .....	270
六、安装中的注意事项 .....	271
第四节 电缆的敷设 .....	272
一、现场电缆的敷设 .....	272
二、接地点的选择 .....	276
第五节 运行前的准备工作 .....	278
第六节 扩大应用范围和延长使用寿命的方法 .....	282
一、低温介质的测量 .....	282
二、密封防腐 .....	283
三、矿浆的测量 .....	283

第六章 电磁流量计的维修 .....	285
第一节 概述 .....	285
第二节 常见故障及检查程序 .....	286
第三节 修复后的流量标定 .....	291
一、容积 - 时间法 .....	292
二、重量 - 时间法 .....	296
三、流量计比较法 .....	297



# 第一章 概 述

## 第一节 电磁流量计的发展概况

电磁流量计是根据法拉第电磁感应定律制成的一种测量导电性液体体积流量的仪表。

大家知道,当导体在磁场中作切割磁力线方向的运动时,就会感应产生一个其方向与磁场方向和导体运动方向相垂直的感应电动势,其值与磁感应强度和运动速度成正比。这就是英国物理学家法拉第在1831年发现的电磁感应定律。

1832年,法拉第在英国泰晤士河滑铁卢桥的两头放下两根电极,想利用地球的地磁场,以河水作为导体,来测量河水的流量。这就是世界上最早的一次电磁流量计的试验。可是,他实验了三天就停止了,因为当时他所测出来的感应信号不能反映河水的流量,而几乎全是干扰噪声。后来有人在分析法拉第失败的主要原因时认为,不仅由于存在着电化学的极化作用和热电效应的影响,以及真正反映河水流速或流量的信号被河床短路等因素,而且也由于当时的测量技术还远远达不到要求。

经过若干年以后,到了1917年,史密斯和斯皮雷安曾将电磁感应原理用于制造船舶测速仪,并推荐应用交流磁场来消除极化作用。这就开辟了电磁测速仪在海洋学上的应用。

1930年,威廉斯等对电磁流量计的工作原理进行了数学

解析，分析了被测液体的流速在测量管横断面上各点分布的不均匀性，以及液体的电导率对感应电势的影响，同时也解释了在电磁流量计中可能产生干扰的一些原因。自此以后，才有了比较系统的电磁流量计的基础理论。但当时他们的研究大多是理论上的分析，还不能做出有实用价值的仪器。

1932年以后，生物学家柯林等根据法布仑的建议，利用电磁流量计来测量和记录瞬时的动脉血液流量，并且获得了成功。不过当时还只能作为实验室的专用仪器，并没有得到广泛应用。

第二次世界大战以后，原子能工业有了迅猛的发展，因而测量液态金属的永磁式电磁流量计才得以发展起来，并在这些特殊的工业试验和生产中得到应用。但是，由于当时电子技术还没有得到相应的发展，因此，它的使用领域还不能扩大到一般工业中去。

1951年，荷兰人首先在挖泥船上采用电磁流量计测量泥浆流量。后来，电磁流量计在美国一般工业上得到应用。到了1955年，日本制成了电磁流量计。差不多在同一时期，苏、英、西德等国也都相继试制成功。

到了五十年代后期，电子工业的飞速发展，自动化程度的不断提高，尤其是电子计算机和程序控制系统在工业上开始应用，对检测仪表除了要求更加稳定可靠、精确度进一步提高外，还要求仪表的输出信号有统一的标准，以便能方便地、迅速地进行测量、控制、调节和数据处理。因此，电磁流量计在经过“几代”改进以后，已逐渐完善起来，发展成为一种性能优异的流量仪表，在工业中得到广泛应用。

据国外有关资料介绍，目前国外一些国家生产的电磁流量变送器的口径系列最小为 $\phi 2 \text{ mm}$ ，最大为 $\phi 2400 \text{ mm}$ ，

有的达到 $\phi 3000\text{mm}$ 。除一般通用化的系列产品外，还有防爆型、潜水型及地下埋设型变送器等产品系列。转换器已采用固体电路，输出信号大多采用国际标准 $4-20\text{mA}(\text{D.C})$ ，有的也采用具有几种输出信号的，以适应各种需要。

我国在1957年开始研制电磁流量计。早期生产的与电磁流量计配套的电子仪器是改装的E W Y型平衡式电子电位差计。整套仪表是这样工作的：当液体流过变送器时，变送器输出流量信号，这个信号经电子放大器放大后去驱动一个可逆电动机，可逆电动机便带动滑线电阻的滑臂和仪表指针一起转动。当滑线电阻滑臂的触点所取的负反馈电压与流量信号的大小相等、方向相反时，可逆电动机停止转动，指针指示出相应的流量值。这种仪表存在着下列主要缺点：(1)测量仪表的输入阻抗低，不但稳定性差，而且可测介质电导率的范围窄( $10^{-4}-5 \times 10^{-3}\text{S/cm}$ )，当被测介质电导率超过一定范围时，则影响测量指示值。(2)没有排除干扰的装置，抗干扰性能差，精度低。(3)机械结构复杂，有机械惯性，灵敏度差，而且滑线电阻容易磨损，使用寿命短。(4)只能指示和记录，没有统一标准信号输出，不能与调节仪表组成调节系统。因此，这种仪表已被淘汰，而由LD型电磁流量变送器与LDZ型电磁流量转换器配套的电磁流量计所取代。这种转换器提高了输入阻抗，扩大了可测介质电导率的范围；增加了抑制干扰信号和补偿电源电压及频率波动影响的电路，提高了仪表精度、稳定性和抗干扰性能；采用了统一的标准信号输出，可直接与DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表组成各种自动检测和调节系统。此外，变送器采用了新的结构，测量管的衬里和电极也采用了新型材料，因而提高了它的耐腐蚀和耐磨损的性能。

目前,我国制造的电磁流量变送器的口径系列,最小为 $\phi 4\text{mm}$ ,最大为 $\phi 1200\text{mm}$ 。除一般型号的电磁流量计外,还有测量含有铁磁性物质的矿浆电磁流量计。与各种类型变送器配套的转换器有三种,其中LDZ-I型、LDZ-II型电磁流量转换器的统一标准输出信号为 $0-10\text{mA(D.C)}$ ;LDZ-III型电磁流量转换器的输出信号采用了国际电工委员会(IEC)的标准—— $4-20\text{mA(D.C)}$ ,并有频率输出( $0-10\text{kHz}$ )。

近十几年来,电磁流量计发展迅速,尤其是大口径电磁流量计在给排水工程、港口疏浚和工业废水处理系统等部门得到了推广,应用的领域也越来越广。因此,电磁流量计在仪表的总投资中所占的比例也越来越大。几年来,国际标准化组织(ISO)进行了不少活动,讨论制订统一的国际标准,促使电磁流量计的生产国际化。但由于电磁流量计还是一种正在发展中的仪表,它的性能和结构还在不断改进,因此,目前要使它达到完全统一标准,还为时尚早。

## 第二节 电磁流量计的特点

电磁流量计具备以下几个主要优点:

(1) 变送器的结构简单可靠,没有可动部分,也没有阻碍被测介质流动的节流部件,不会发生堵塞问题。因此,电磁流量计特别适用于测量液固两相介质,象带有悬浮物、固体颗粒、纤维等的或粘性较大的导电性的浆液,可以用来测量泥浆、污水、矿浆、纸浆、化学纤维浆等介质的流量。选用适当的材料和结构,可以使变送器耐磨损,使用寿命长。由于变送器的测量管直通无死角,便于清洗和灭菌消毒,因

此，电磁流量计特别适用于食品、制药工业，用来测量玉米浆、果酱、糖浆、药浆或血液等特殊介质的流量。

(2) 由于没有节流部件，被测介质在变送器的测量管内流过时，几乎没有压头损失，仅仅只有这一管段的沿程阻力，因而可以忽略不计。这点与有节流装置的流量计相比，具有很大的优点。以管径  $D = 1 \text{ m}$ ，流量  $Q = 6000 \text{ m}^3/\text{h}$  的管路为例，当采用文丘利管配量程为  $300 \text{ mm Hg}$  的差压计时，额外消耗泵的功率约为  $10 \text{ kW}$ ；当采用孔板配用同样的差压计时，额外消耗泵的功率约为  $32 \text{ kW}$ ；当采用同样口径的电磁流量计时，功率消耗仅为  $0.2 \text{ kW}$ 。这说明电磁流量计由于其压头损失极小，与通常采用的节流式流量计相比，可以大大减少泵等原动力的消耗，特别在工艺管道中压头不高或依靠管道水头自流的情况下，采用电磁流量计就更为有利。

(3) 电磁流量计是一种体积流量测量仪表，它不仅可以测量单相的导电性液体的流量，也可以测量液固两相介质的流量，而不受被测介质的温度、粘度、密度、压力、比重以及电导率（在一定的范围内）等物理参数变化的影响。因此，电磁流量计只需经水标定以后，就可以用来测量其他导电性液体或液固两相介质的流量，而不需要附加修正值。这也是其他类型的流量计所不具备的优点。

(4) 电磁流量计量程范围极宽，而且可以任意改变量程。而孔板、文丘利管等类型的流量计，其最大额定流量是根据差压决定的，在设计计算时，按被测介质各种参数选定，在使用中一旦参数改变，就会带来测量误差，甚至原先选用的那些流量计就不能使用了，这给使用者造成了困难。此外，电磁流量计只与被测介质的平均流速成正比，而与轴对称分布下的流动状态（层流或紊流）无关。这就给使用者带来很大

的方便。

(5) 电磁流量计无机械惯性，反应灵敏，可以测量瞬时脉动流量，而且线性好，可以直接进行等分刻度。因此，可将测量信号直接用转换器线性地转换成标准信号输出，既可以就地指示，也可以将信号远距离输送，直接与DDZ型电动单元组合仪表配套，组成各种自动检测和自动调节系统，并且可以通过接口装置与自动巡回检测装置、程序控制系统或电子计算机配套。

(6) 耐腐蚀性能好。由于电磁流量计与被测液体接触的部分只有测量管衬里和电极表面，因此可根据被测介质的物理化学性质来选择合适的材料。

(7) 安装方便。变送器可以水平安装，也可以垂直安装，并且对前置直管段的要求较低（一般说，从电极中心至上游侧阀门或弯头等管件的距离为测量管直径的五倍即可），而对下游侧却无要求。它不象孔板、文丘利管那样，对前后直管段都有严格的要求，否则会直接影响测量精度。

(8) 使用维护方便，使用寿命较长。

尽管电磁流量计具有上述许多优异特性，但在使用上也有一定的限制。它的不足之处有：

(1) 电磁流量计不能用于测量气体、蒸汽以及含大量气泡的液体。

(2) 电磁流量计现在还不能用来测量电导率很低的液体，例如石油制品或有机溶剂等。

(3) 由于衬里材料和电气绝缘材料的温度限制，目前一般工业电磁流量计还不能用于测量高温介质。

此外，电磁流量计要求避免外界强磁场的干扰，并对仪表接地措施有一定的要求，如果处理不当，就会影响仪表的

正常运行。

电磁流量计与目前常用的几种流量计的性能比较见表 1-1。

### 第三节 电磁流量计的发展趋向

电磁流量计的原理性实验研究虽然已有一百四十多年的历史，但电磁流量计作为工业用的流量测量仪表，是从本世纪五十年代才开始发展起来并得到普遍应用的。近十年来，电磁流量计又有了迅速的发展和提高，一些国家都在研究、制造新型的电磁流量计，进一步改进和提高它的性能。根据目前所了解到的情况，主要向以下几个方面进行研究和探索。

#### 一、非均匀磁场的电磁流量变送器

1970年以前，世界各国生产的工业用电磁流量变送器，绝大多数是属于均匀磁场型的。这种均匀磁场变送器要求磁场分布均匀，因此，通常设计的激磁线圈尺寸较大，轴向长度较长，测量管也就较长。这样做的目的是为了消除磁场边缘效应的影响，因此，这种变送器的体积较大，比较笨重。另外，这种变送器在流速分布为非轴对称时，会产生测量偏差。

为此，近十年来，各国正大力研究和制造非均匀磁场型变送器。这种类型的变送器可在流速分布为非轴对称的情况下进行精确的测量，而且缩短了激磁线圈长度，大大缩小了变送器的体积，减轻了重量，节约了材料，降低了制造成本，并给安装使用带来了方便。

表 1-1 几种主要类型的流量计的性能比较

流量计类型	旋涡流量计	容积式流量计	涡轮流量计	面积流量计	超声波流量计	孔板式差压流量计	文丘利管流量计	电磁流量计
测量原理	测量旋涡的个数	测出连续吐出量的次数(输出轴转数)	由被测流体推动叶轮旋转	定压降的可变环形面积原理	利用流速使超声波传播速度变化的频差法或相关法原理	伯努利定律	伯努利定律	法拉第电磁感应定律
被测介质	气体	液体 气体	液体 气体	液体 气体	液体 气体	液体 气体 蒸汽	液体 气体 蒸汽	导电性液体
测量精度 (相对于满量程指示值)	±1%	±0.2—0.5%	±0.5—1%	±1—2%	±2%	±2%	±2%	±0.5—1.5%
安装直管段要求	要直管段	不要	要直管段	不要	要直管段	要直管段	要直管段	上游侧对直管段要求不高,下游侧无要求
压头损失	有	有	有	有	几乎没有	较大	较大	几乎没有
更换量程的方法	难	难	难	改变浮子的重量(麻烦)	改刻度	改变差压变送器刻度(难)	换管,改变变送器刻度(难)	调整程电位器(容易)
口径系列(φ, mm)	50—500	10—300	2—500	2—150	适用于中等以上口径,特别是大口径	50—1000	150—400	2—2400
成本	中等和大口径成本低	较高	中等	低	以下的高	中等	高	高



## 二、变送器、转换器的互换

长期以来，电磁流量计的变送器与转换器只能分别配套标定，配套后就不能互换。这样在使用过程中，如果变送器或转换器一旦出现故障，则整套仪表就不能继续工作。在检修后进行流量标定时，也必需将整套仪表一起配套重新标定，而不能使用备用的变送器或转换器来代替。因此，给用户带来很多麻烦。

为了解决互换性问题，目前采取的办法是，首先将各种口径的变送器在技术性能上的差异严格控制在一定范围内，并在所有变送器内设置比较电压电路。在这个电路中，可将比较电压的相位调整到与流量信号的相位一致，并使其大小比率精确地调整为一定值。这样就不再需要分别配套标定，在使用中不管口径大小都可以任意进行互换。另外，目前在变送器设计制造方面正朝现场拆装修理后不经重新标定可以直接安装使用的方向发展，并使仪表具有一定的精度（比原先的精度略低一点）。这样就给使用单位带来很大方便。

## 三、低电导率液体的流量测量

至今各国生产的电磁流量计绝大多数都要求被测介质有足够的电导率，并且对信号传输导线的长度也都有一定的限制。这个限制，通常是以介质的电导率范围来决定的。对于电导率极低的介质如石油制品或有机溶剂等液体的流量的测量，电磁流量计的应用就受到了限制，这是由于当电导率很低时，电极与液体之间的接触电阻增加，使变送器的内阻增