

# 电磁流量传感器励磁方式的基本原理

宁波水表股份有限公司（浙江省水表研究院） 姚灵

## 1 电磁流量传感器励磁方式

电磁流量传感器工作时需要恒定磁场或交变磁场的激励。为了提高传感器的性能和抗干扰特性，人们先后采用了恒定磁场的直流励磁和采用交变磁场的正弦波励磁、低频矩形波励磁、三值低频矩形波励磁、以及双频矩形波励磁等方式，使得电磁流量传感器的性能特性逐步提高和优化。图 1 为这几种励磁方式的理想波形图，其中：（a）直流励磁；（b）工频正弦波励磁；（c）单极性低频矩形波励磁；（d）双极性低频矩形波励磁；（e）三值低频矩形波励磁；（f）双频矩形波励磁。

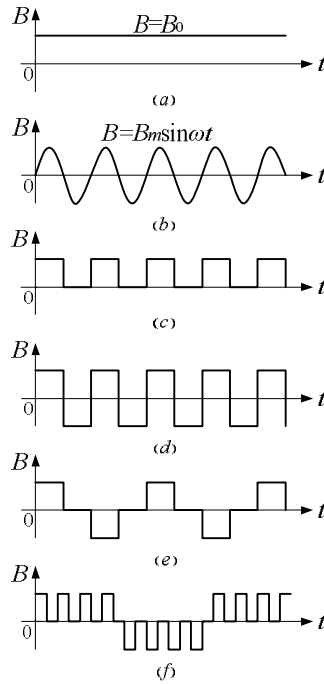


图 1 几种常用励磁方式的理想波形图

### 1.1 直流励磁方式

电磁流量传感器最初使用的是直流励磁，它是利用永久磁钢或直流电源给励磁线圈供电而形成恒定磁场，见图 1（a）。

直流励磁具有方法简单、受工频干扰影响小、被测流体中的自感现象可以忽略等特点。但直流励磁最大问题是：

1) 直流感应电势在两电极表面上形成固定的正负极性，引起被测流体介质电解而产生正负离子，导致电极表面出现极化现象，使流量信号的感应电动势减弱，电极间等效电阻增

大，严重影响到信号处理部分的正常工作。即使电极采用极化电势很小的铂、金等贵金属或其合金材料，但常常也会存在微弱的极化电势现象；

2) 直流励磁在电极间产生不均衡的电化学干扰电势叠加在直流流量信号中无法消除；

3) 直流放大器的零点漂移、噪声和稳定性等问题难以获得很好解决，特别是在小流量测量时，信号放大器的直流稳定度必须在亚微伏量值内，这样就限制了直流励磁技术的应用范围。

## 1.2 工频正弦波励磁方式

工频励磁技术是利用工频 50Hz 正弦波电源给电磁流量传感器励磁绕组供电，其主要特点是所产生的磁场为一正弦波交变磁场，见图 1 (b)。这种励磁方式可基本消除电极表面的极化现象，降低电极电化学电势的影响和传感器内阻。另外，采用工频正弦波励磁技术，其传感器输出的流量信号仍然是工频正弦波信号，易于放大处理，能避免直流放大器使用中存在的实际困难，而且励磁电源简单方便。

在工频正弦波励磁方式中，交流磁场的磁感应强度为

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1)$$

在电极上产生的感应电动势为

$$e = k B_m D \bar{v} \sin \omega t \quad (2)$$

则被测体积流量为

$$q_v = \frac{\pi D^2}{4} \bar{v} = \frac{\pi D}{4k} \frac{e}{B_m \sin \omega t} \bar{v} \quad (4)$$

式中  $\bar{v}$ —被测流体的平均流速； $B_m$ —交变磁感应强度的幅值； $\omega$ —励磁电流角频率， $\omega=2\pi f$  (为励磁电源频率)。

但是，采用工频正弦波励磁技术会带来如下一系列的干扰和噪声。

### 1. 电磁感应产生的正交干扰

正交干扰通常是由所谓的“变压器效应”和我电流造成的。在电磁流量传感器中，由于电极、引线、被测介质和二次仪表的输入电路等构成的闭合回路处在一交变的磁场中，相当于形成了变压器的初级绕组，即使被测介质不流动，处于该交变磁场中的闭合回路也会产生感应电动势和感应电流，显然这是由于干扰电动势造成的。根据楞次定律，干扰电动势  $e_z$  与磁场对时间的变化率的负值成正比，见下式

$$e_z = -\frac{dB}{dt} = -B_m \omega \cos \omega t = B_m \omega \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

上式中的负号表示按楞次定律的感应电动势的方向与磁场变化的方向相反。正交干扰信号电动势具有以下几个特点：（1）与流量无关，即使流体静止不动，这样的信号依然存在；（2）在相位上比流量信号滞后  $\pi/2$ ；（3）励磁电源频率越高，正交干扰也越严重。

## 2. 同相干扰

所谓同相干扰指的是在流量传感器两个电极上，频率和相位都和流量信号一致的干扰信号。一般认为是由静电感应、绝缘电阻分压、以及测量管道上的杂散电流引起的。传感器的励磁线圈对电极 A 和 B 不仅存在着绝缘电阻  $R_m$ ，同时还存在着分布电容  $C_f$ 。设两电极之间的内阻为  $R_s$ ，则励磁电压  $U$  通过绝缘电阻和分布电容与传感器内阻分压，在两电极上同时产生压降，见图 2。

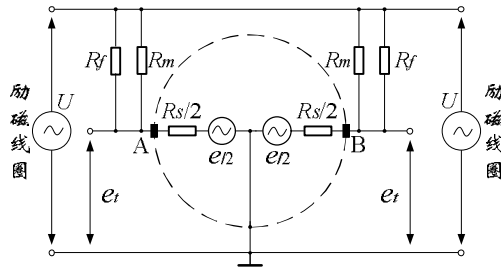


图 2 静电感应引起的同相干扰原理图

设励磁电压为

$$U = U_m \sin \omega t \quad (6)$$

则在  $C_f$  上产生的容抗为  $R_f = \frac{1}{\omega C_f}$ ， $R_f$  和  $R_m$  并联，通常  $R_m$  远大于  $R_f$ ，则并联后的总阻抗

$R$  近似为  $R_f$ 。这样， $R_f$  和内阻  $R_s/2$  对励磁电压  $U$  进行分压，在电极上将得到由分布电容  $C_f$  串入的干扰电压为

$$e_t = \frac{R_s}{2R_f + R_s} U_m \sin \omega t \quad (7)$$

由于同相干扰信号的频率和相位与流量信号完全一致，叠加在流量信号中难以分离，以致电磁流量传感器的工作零点不稳定。

## 3. 工频正弦波供电电源电压与频率的波动影响

由式（2）可知，电压和频率的波动会分别影响到  $B_m$  和  $\omega$ ，从而对流量测量结果造成较

大的影响。

由于正交干扰信号电势往往有较大幅值,自动正交抑制系统等抗干扰措施不可能完全消除干扰信号,从而导致电磁流量传感器工作零点不稳定,测量准确度难以提高。

### 1.3 低频矩形波励磁方式

低频矩形波励磁技术是结合了直流励磁和交流励磁技术的优点,同时避免了它们缺点的一种励磁技术。它的励磁波形见图 1(c)和(d)所示,其频率通常为工频的偶数分之一(一般为  $1/2 \sim 1/32$ )。前期应用以单极性低频矩形波励磁为主,后期则采用双极性低频矩形波励磁技术。

从图 3 中可以看到,在半个周期内,磁场是一恒定的直流磁场,它具有直流励磁技术受电磁干扰影响小,不产生涡电流效应,正交干扰和同相干扰小等特点;从整个时间过程看,矩形波信号又是一个交变信号,具有正弦波励磁技术基本不产生极化现象,便于放大和信号处理,避免直流放大器零点漂移、噪声、稳定性等问题的优点。所以低频矩形波励磁技术具有良好的抗干扰性能,在电磁流量传感器中已得到了广泛的应用。

在低频矩形波励磁中,由于励磁电流矩形波存在着上升沿和下降沿,因此必然会出现微分形式的干扰。若上升沿和下降沿越陡,微分干扰电势就越大,但持续时间会很短,并能形成一窄的尖脉冲;反之,干扰就小,但持续时间长且干扰幅值小。

如何消除上升沿和下降沿处的微分干扰,是低频矩形波励磁技术要解决的主要问题之一。由于一般电磁流量传感器励磁绕组中电感和电阻的比值  $L/R$  往往较小。随着励磁电流进入稳态,微分干扰也很快就能自动消失。所以,为了排除微分干扰对流量信号的影响,通常在励磁电流进入稳态的恒定阶段(即矩形波的平顶部分)后,再对流量信号电压进行同步采样,见图 3。图中(a)为低频矩形波磁场理想波形,(b)为理想微分干扰电动势,(c)为实际磁场波形,(d)为实际微分干扰电动势,(e)为流量信号合成电动势,(f)为同步采样信号。

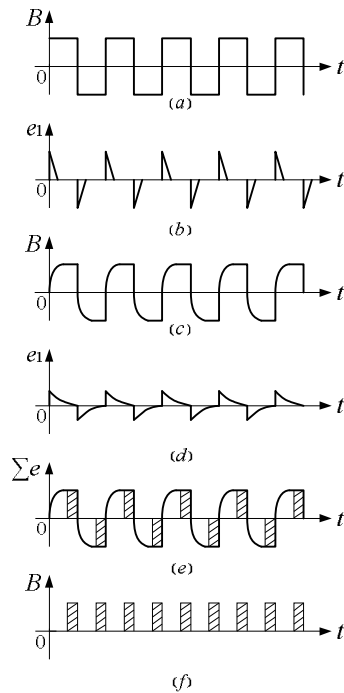


图 3 低频矩形波励磁波形

这样微分干扰信号不能进入同步采样，因此也不影响流量信号的输出。此外，同步采样脉冲相对工频来说是一宽脉冲，并选择为工频周期或工频周期的整数倍，如图 3 (e) 所示。这样，即使流量信号中混有工频干扰信号，因其采样时间为完整的工频周期，其均值为零，由此造成的干扰影响就能大大弱化。另一方面，由于励磁频率较低，使得涡电流很小，静电耦合分布电容的影响也小，由静电感应产生的同相干扰也大为减少。综上所述，低频矩形波励磁方式有以下几个优点：

- 1) 能避免正弦波交流磁场的正交干扰；
- 2) 基本消除了由分布电容引起的工频干扰；
- 3) 能抑制交流磁场在管壁和流体内引起的涡电流；
- 4) 能消除直流磁场的极化现象。

低频矩形波励磁技术的采用，解决了长期困扰电磁流量传感器的电磁干扰等问题，大大提高了电磁流量传感器的工作零点稳定性和测量准确度，同时也缩小了传感器的体积，降低了励磁功率，使二次仪表（信号处理部分）与传感器能够设计成一体化。

#### 1.4 三值低频矩形波励磁方式

三值低频矩形波励磁技术是在总结低频矩形波励磁技术的基础上，为了使流量传感零点更加稳定而提出的一种励磁新技术。磁场波形如图 1 (e) 所示。其最大特点是实现了在零

态时动态校正零点，因而具有更优良的零点稳定性。

三值低频矩形波励磁方式的励磁电流一般采用工频的  $1/8$  频率，以  $+B$ ,  $0$ ,  $-B$  三值进行励磁，通过对“正-零-负-零-正...”变化规律的三种状态进行采样和处理，见图 4，图中 (a) 为正弦波交流电源频率，(b) 为励磁电流波形，(c) 信号电压，(d) 流量信号采样脉冲。三值低频矩形波励磁方式的主要特点是：

1) 能在零态时动态校正零点，有效地消除流量信号的零位噪声，从而大大提高了传感器的零位稳定性；

2) 它与低频矩形波励磁技术一样，可以采用同步采样技术来消除上升沿和下降沿的微分干扰；采用宽脉冲采样以消除混在流量信号中的工频干扰信号；

3) 通过一个周期内的四次采样值，近似认为极化电势为恒定值，并利用微处理器的数值运算功能可以方便地消除极化电势的影响。

采用三值低频矩形波励磁技术的电磁流量传感器零点稳定、抗工频干扰能力强，测量准确度进一步提高，传感器单位流速的流量信号电压可以减低到工频励磁方式时的  $1/4$ ，从而可进一步降低励磁功耗，实现电磁流量计的小型化和轻量化。目前，三值低频矩形波励磁技术在电磁流量传感器中已得到了广泛的应用。

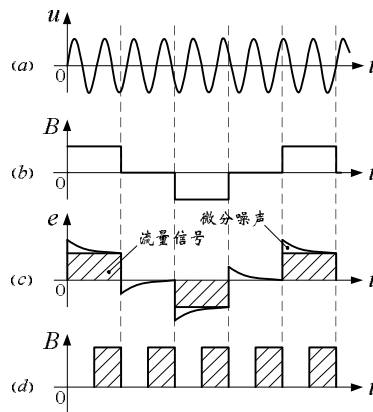


图 4 三值矩形波励磁波形图

### 1.5 双频矩形波励磁方式

三值低频矩形波励磁方式具有优良的零点稳定性，但在测量泥浆、纸浆等含纤维和固体颗粒的流体介质和低电导率流体测量时，出现固体颗粒擦过电极表面而产生低频尖峰噪声和流体流动噪声，这样往往导致励磁频率较低的三值励磁电磁流量传感器输出摆动不稳。

三值低频矩形波励磁零点稳定，但无法抑制低频噪声；较高频率的矩形波磁场能消除低频噪声，但一般其零点稳定性欠佳。人们在分析各种励磁技术的基础上，提出了双频矩形波

励磁技术，其磁场波形见图 1 (f)。高频部分是 75Hz 的矩形波，外包络线是 1/8 工频的低频矩形波。采用这种励磁方式，可用高频波采样来消除含纤维和固体颗粒流体介质的低频噪声，同时又保持了低频矩形波励磁零点稳定的优点。

### 5.5.6 尖脉冲波励磁方式

电磁水表由于使用环境比较恶劣，因此通常都采用电池供电方式，而不适合使用交流电源供电。为了最大限度降低自带电池的电源消耗，可以采用功耗极低的尖脉冲波电流励磁方式。当尖脉冲波电流激磁矩形磁滞回线的磁性材料时，励磁线圈产生的磁感应强度就会发出近似于矩形波的励磁场。这种励磁方式可以用极低的功耗获取较高的磁感应励磁强度，见图 5 所示。

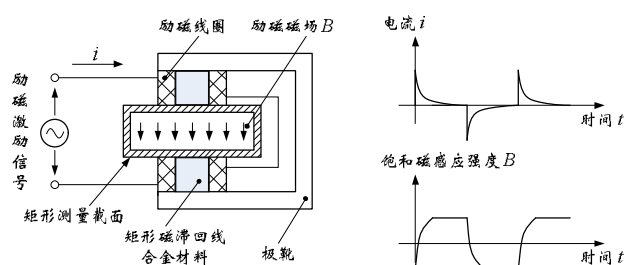


图 5 尖脉冲波励磁方式示意图

作者联系方式：宁波市 江北区 洪兴路 355 号，邮编：315032；宁波水表股份有限公司（浙江省水表研究院）姚灵；邮址：[13806630959@139.com](mailto:13806630959@139.com)；电话：0574-88195868

2016 年 2 月 22 日