

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2021.01.010

电磁感应式电导率传感器多参数性能研究

张嘉泓¹, 张继军^{1*}, 王林军¹, 郝道友²

(1. 上海大学材料科学与工程学院, 上海 201900; 2. 沈阳工业大学信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110870)

摘要: 电磁感应式电导率传感器 (Type Inductive Conductivity Sensor, TICS) 自身探测结构的不外露, 可以避免磁芯线圈的腐蚀, 提高海水电导率探测的稳定性。但是感应式电导率传感器磁芯的相对磁导率不仅受到外界温度和压力的影响, 其随工作频率的增加也会有很大的衰减, 导致输出信号过小, 分辨率降低。本文首先对感应式探头的物理结构参数、输入信号参数进行理论分析, 根据理论分析的结构参数, 定制了感应式探头, 最后经过实验论证, 得出了探头结构参数、工作信号参数的选择依据, 可以更好地提高输出信号的准确度与分辨率。

关键词: TICS; 电导率; 相对磁导率

中图分类号: TH766 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029 (2021) 01-0071-09

目前, 溶液电导率测量的方法有很多种^[1-2]。在 20 世纪中叶, 人们还是使用直接测量的传统方式, 用测量海水盐分比重的方式来测量海水的盐度。而在 1978 年制定实用盐标之后, 采用传感器测量海水电导率并换算出实用盐度占据了现场盐度测量的主导地位^[3]。

使用电导率测盐度具有精确度高、速度快、计算海水密度可靠以及便于现场测量等优点^[4]。测量海水电导率主要分为电磁感应式和电极式两种方法。电极式传感器根据电极的数量不同可分为两电极式、三电极式、四电极式、七电极式等, 由于灵敏度高、结构简单、易于小型化等优点, 在实验室中得到了广泛应用^[5-6]。然而, 电极式传感器容易被极化, 金属电极会被腐蚀性介质破坏, 从而降低了其长期稳定性。

TICS 没有裸露的金属电极, 探头的磁芯线圈部分不与流体介质直接接触。电导池的内壁光滑无

凸起、不容易外挂异物, 而且感应式电导池尺寸短、孔径大、可清洗、易维护, 即使导流管内被生物附着, 也可以通过简单清洗即可恢复传感器的测量性能^[7]。因此, 感应式传感器在海洋水文调查和工业领域的电导率测试中占据了重要地位。A J Fougere 等提出了适用于生物活跃的海洋区域的感应式电导率传感器, 其传感器不受外部磁场的影响^[8-9]; A L Ribeiro 等^[10]提出了一种双变压器式感应式电导率传感器, 用于监测海水和河口的盐度; Linda 等提出了一种用于河口研究的盐度传感器系统的设计、开发和测试, 该传感器也是基于双变压器原理^[11-12]; S Wu 等^[13]提出了变压器式感应电导率传感器的原理, 并建立了数学模型来展示传感器的特性。

目前, 感应式传感器主要存在抗干扰能力弱、输出感应信号小的问题。在通过感应线圈传递能量时, 其磁芯的磁导率值不仅受外部温度和压力变化的影响而变化, 并且随输入信号的频率的增加也会

收稿日期: 2020-08-03

作者简介: 张嘉泓 (1996-), 男, 硕士研究生, 主要从事传感器探测研究。E-mail: 778772034@qq.com

通讯作者: 张继军 (1981-), 男, 博士, 副教授, 主要从事化合物半导体晶体生长和光电探测器研究。

E-mail: zhangjijun222@shu.edu.cn

有一个衰变，因此如何确定一个合适的激励信号，使得输出信号具有良好的分辨率与灵敏度，是本文研究问题的关键。本文首先从 TICS 的工作原理总结了整个工作过程的传递函数；然后通过数学建模，分析并确定了结构参数，确定了物理模型，制作了探头；再从输入信号的大小、频率以及线圈间距 3 个参数分别进行性能试验，探究对输出信号的准确度与分辨率的影响；最后进行盐水电导率的测试，验证输出信号与电导率的线性关系。

1 工作原理

TICS 主要由一个激励线圈和一个感应线圈组成，两个物理参数相同的同轴线圈套在导流管上。待测流体相当于一匝的闭环线圈，分别与激励和感应线圈形成初级输入和次级输出的感应电动势。其三维模型如图 1 所示。

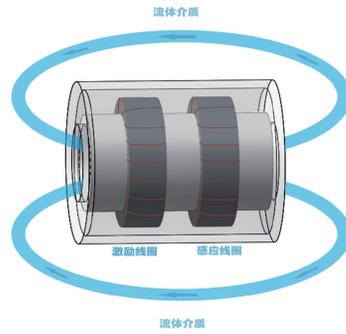


图 1 感应式探头模型图

TICS 的工作原理流程图如图 2 所示。首先，给发射线圈一个交流激励信号，在发射线圈磁芯中形成交变磁场，导致流体回路中的磁通量发生变化，使得流体中产生感应电动势，并形成交变涡流，随之接收线圈磁芯中产生了交变磁场，接收线圈中产生出感应电动势。输出的感应电动势与海水电导率呈线性关系，从而可以根据输出信号来测定海水电导率。



图 2 工作原理流程图

2 材料选择

选择磁芯材料时，磁芯的磁通量变化需要能够及时地跟上线圈产生的磁场的变化，即在输入交流信号的频率变化下 (1 ~ 10 kHz)，磁芯不能

有过多的磁滞损耗，这就需要高饱和磁感应强度 (B_s)、高磁导率 (μ)、低矫顽力 (H_c)、低磁滞损耗的磁芯材料。表 1 给出了常见软磁材料的性能对比^[14]。

表 1 常见软磁材料

材料	坡莫合金	铁基非晶	锰锌铁氧体	非晶纳米合金 Finement
组成	Ni (78%) Mo (5%) Fe (17%)	Fe (80%) B (20%)	Mn (74%) Zn (18%) Fe (6%) O (2%)	Fe (73.5%) Si (13.5%) B (9%) Cu (1%) Nb (3%)
初始磁导率 μ_r	$\geq 60\ 000$	4 500	5 300	$\geq 60\ 000$
饱和磁通密度 B_s/T	1.25	1.56	0.44	1.35
磁芯损耗 $P_c/kW\ m^{-3}$	380	2 200	1 200	350
矫顽力 $H_c/A\ m^{-1}$	1.6	5	8	1.3
电阻率 $\rho/\Omega\cdot m$	1.3×10^{-6}	1.4×10^{-6}	0.2	1.1×10^{-6}
居里温度 $T_c/^\circ C$	450	415	150	570

由表1可知, 坡莫合金和纳米晶合金材料都具备了较低的矫顽力和较高的磁导率, 考虑到成本采用坡莫合金作为磁芯材料。导流管采用氧化铝陶瓷制成, 既具备高绝缘性, 又有相当稳定的化学性质, 陶瓷材料本身具有高绝缘性、化学性质稳定和耐压强度大等特点, 非常适用于制作海洋测量传感器^[15]。

3 数学模型

3.1 传递函数

感应式探头的等效电路图如图3所示。

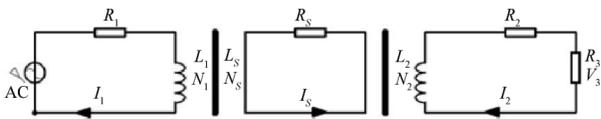


图3 等效电路图

图3中, I_1 为输入信号电流; R_1, R_2 为磁芯线圈等效电阻; R_3 为流体介质的等效电阻; R_3 为取样电阻; V_3 为输出信号, 激励线圈和感应线圈的匝数与自感均相同, 即 $L_1=L_2, N_1=N_2$, 流体介质 $N_3=1$ 。

磁芯线圈的示意图如图4所示。

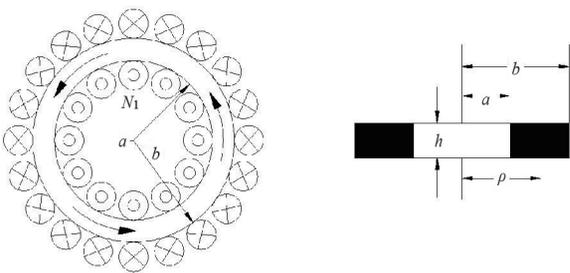


图4 环形线圈示意图

图4中, N_1 为激励线圈的匝数; a, b 分别为次新的内外半径; h 为磁芯的厚度; ρ 为磁芯的平均半径。激励线圈与感应线圈的物理结构相同, 则线圈匝数相同, 磁芯尺寸相同, 即 $N_T=N_R, a=a', b=b', h=h'$ 。

给定输入信号, 频率为 f , 根据安培环路定律:

$$\oint_{L_1} B_1 d\vec{l} = \mu N_T I_1 \quad (1)$$

由式(1)得到激励线圈的磁感应强度 B_1 表达式如下:

$$B_1 = \frac{\mu N_1 I_1}{2\pi\rho} \quad (2)$$

式中: 磁芯的磁导率为 $\mu, \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$; μ_0 为真空磁导率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$; μ_r 为相对磁导率, 磁芯的初始磁导率即为初始状态的相对磁导率。

导电流体回路上的电压 V_2 , 根据电磁感应定律可得:

$$V_2 = -\frac{if\mu N_1 I_1 h}{2\pi} \cdot \ln \frac{b}{a} \cdot \sigma \quad (3)$$

式中: σ 为待测流体电导率。

流体回路的等效电阻, 这里定义为两个磁芯上下端面的之间的等效电阻, 其电阻 R 的表达式由电阻的决定式:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad (4)$$

将流体的物理参数带入可得到等效电阻的阻值表达式为:

$$R = \frac{2\pi l}{\sigma\pi r^2} \quad (5)$$

式中: r 为导流管截面的内径; l 为等效电阻的长度, 考虑到探头的小型化设计, 则磁芯上、下端面的间距即为导流管的长度; 流体的截面积为 $S_2 = \pi r^2$

待测流体的回路电流则为:

$$I_2 = -\frac{if\mu N_1 I_1 S_2 h}{2\pi l} \cdot \ln \frac{b}{a} \cdot \sigma \quad (6)$$

那么接收线圈的磁芯磁感应强度根据安培环路定律得出:

$$B_2 = -\frac{if\mu N_1 S_2 h}{4\pi 2\rho l} \cdot \ln \frac{b}{a} \cdot \sigma \quad (7)$$

式中: ρ' 为接收线圈磁环的平均半径。

根据电磁感应定律, 在磁芯磁感应强度 B_2 下, 接收线圈的感应电动势 V_3 的表达式如下:

$$V_3 = -\frac{(\ln \frac{b}{a})^2 h^2 f^2 I_1 N^2 \mu^2}{2l} \sigma \quad (8)$$

式中：初、次级线圈的匝数均为 N 。

可以看到在输入信号、磁芯线圈和导流管的相关参数确定之后，输出的感应电动势与海水电导率呈线性关系。

3.2 参数分析

3.2.1 磁芯线圈结构参数 根据式(8)可知，影响输出电压的因素除了待测流体的电导率之外，还有结构参数、信号参数。结构参数的变量主要有：线圈间距 l 、线圈匝数 N 、磁芯内外半径比 b/a 、导流管截面内径 r 。输出信号随这4个变量的变化曲线如图5所示。

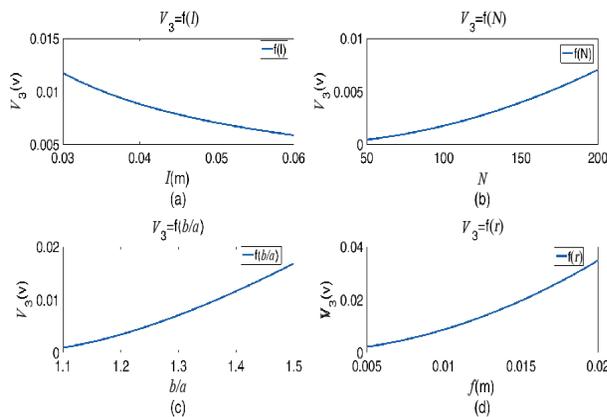


图5 结构参数曲线图

图5-a中，线圈间距 l 与输出电压呈反比的关系，磁芯的厚度在 $20 \sim 25$ mm，为了使输出电压达到 mV 级别，又要尽量减小线圈之间产生的互感电动势（具体见 5.1），线圈的间距 l 的取值范围在 $45 \sim 50$ mm 之间。图5-b中，输出电压信号与线圈匝数 N 呈平方项的关系，因此线圈匝数变化量对输出电压的影响明显，为了达到 mV 级，线圈匝数在 100 匝左右即可，如果需要更大的输出信号提高分辨率，可增加至 200 匝。图5-c中，磁芯的内外径之比在 $b/a=1.3$ 时，线圈的输出信号在海水盐度范围内即可满足 mV 级别。图5-d中，

输出信号与导流管截面半径呈平方项的关系，但为了使探头小型化，只要满足输出信号能被接收并放大即可，因此导流管的截面半径 r 的范围可选在 $5 \sim 10$ mm 中。

3.2.2 磁导率与工作频率的关系

根据数学模型可知，磁芯的相对磁导率与输出信号 V_3 为平方项的正相关关系。如图6所示，在 $\mu_r=10\,000$ 和 $\mu_r=60\,000$ 的两个磁导率数值下，输出信号的大小随着海水电导率的增加，会有接近 100 倍的大小关系，这对于后续的信号处理与分辨率的提高至关重要。

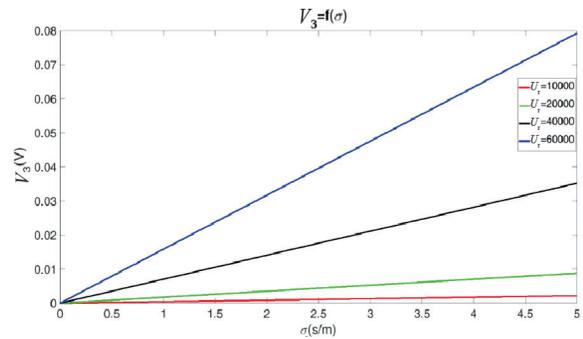


图6 相对磁导率与输出信号变化曲线

不过，磁芯的相对磁导率随着工作频率的增加会有急剧的衰减。如图7所示，在 0.05 mm 的带材厚度下，峰值磁导率在 $0 \sim 1000$ Hz，相对磁导率从 $80\,000$ 大幅衰减到 $20\,000$ 。因此，为了在探头的正常工作频率范围内，使磁导率的衰减不至于屏蔽输出信号 V_3 ，需要从实验中来确定合适的工作频率。

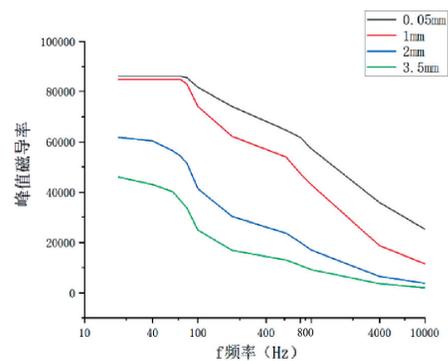


图7 1J85 坡莫合金峰值磁导率与工作频率关系曲线

4 实验

根据图5的结构参数与输出信号的关系, 为了使输出信号达到 mV 级别同时又要尽可能使探头小型化, 制作了 1J85 坡莫合金 ($\text{Ni}_{78}\text{Mo}_5\text{Fe}_{17}$) 的磁芯线圈, 线圈感量分别为 36.7 mH、43.5 mH。为了对磁芯线圈的间距进行性能研究实验, 对磁芯线圈进行了单独的灌封处理, 并未对整个探头进行塑封。图8所示为实验探头的组成部分: 带刻度的陶瓷管与灌封完好的磁芯线圈。

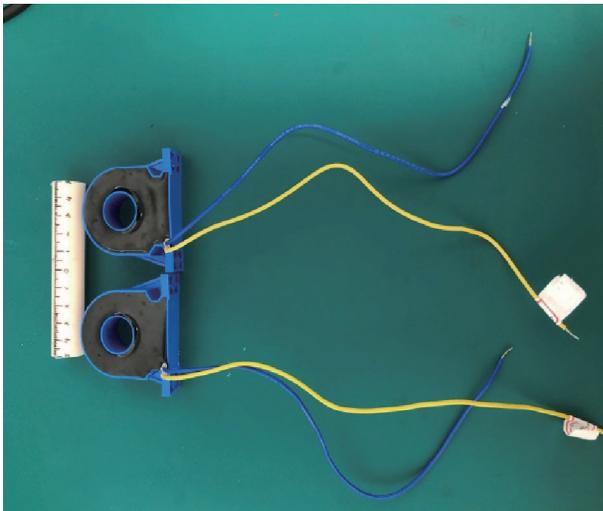


图8 探头组成实物图

在磁芯线圈物理结构确定之后, 对可变参数: 线圈间距 l 、输入信号 V_1 、输入频率 f , 分别进行性能测试。实验设备如图9所示: 采用优利德 2025A 信号发生器, 用来提供正弦波波形、指定幅值、频率的输入信号; 优利德 2104CS 示波器, 用来显示输出信号的波形及大小; 信号放大模块, 用来放大输出信号并且保持信号的跟随性; 信号放大模块供电的直流电源。采用青岛道万科技有限公司的磁感式温盐深仪来标定配置盐水的电导率值。

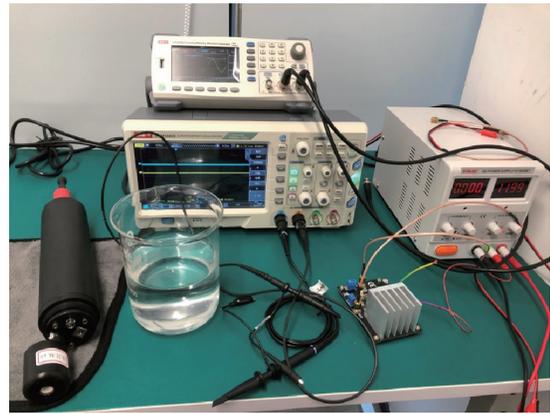


图9 实验设备

5 结果与讨论

5.1 线圈间距 l 对输出信号 V_3 的影响

线圈间距试验探究线圈之间的距离对输出信号大小的关系。将信号放大模块输出的信号, 过滤掉背景噪音, 输出在示波器中, 配置盐水的电导率值为 40 ms/cm。在 22 ~ 100 mm 间, 间隔 1 mm 取一次输出信号数值, 并且为了提高数据的可靠性和重复性, 记录下 10 次读数的平均值作为输出信号的真值。图10为线圈间距与输出信号 V_3 的实验数据关系图象。

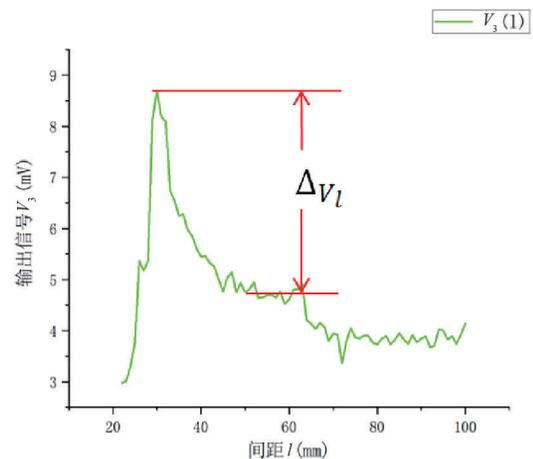


图10 线圈间距试验数据图

从图中可以看出, 确定输入信号下, l 与 V_3 呈非倒数关系。1: 22 mm 至 30 mm, V_3 大幅增加; 30 mm 至 45 mm, V_3 从 8.68 8 mV 大幅下降到 4.77 mV;

45 mm 至 100 mm, V_3 的波动性减小, 基本稳定在 4 mV 左右。两线圈之间的互感电动势 V_L 随着线圈的间距增加会有一个很大的衰减。在间距 30 ~ 45 mm 之间, V_3 减小了 $\Delta V_3=3.918$ mV, 由于流体介质感应的电动势 V_σ 与线圈间距 l 呈反比, 因此 V_σ 的变化量 ΔV_σ 的表达式如下:

$$\Delta V_\sigma \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2} \right) \cdot \Delta V_3 \quad (9)$$

由式(9)可知, l : 30 mm 至 45 mm, $\Delta V_\sigma=0.044$ mV, 则因线圈互感减小的感应电动势 $\Delta V_L=\Delta V_3-\Delta V_\sigma=3.847$ mV, 占 ΔV_3 的 99%。因此, l : 30 mm 至 45 mm 时, $\Delta V_3 \rightarrow \Delta V_L$ 。并且 ΔV_L 占输出信号 $V_{3\max}$ 的 44.3%, 大大影响了流体电导率测量的准确度与分辨率。

为了减小线圈互感电动势 V_L 在 V_3 中的占比, 在选取线圈间距 l 时, 要尽量减小线圈互感的影响, 线圈间距在 50 ~ 60 mm 这一范围内, $\Delta V_\sigma=\Delta V_3-\Delta V_L=0.144$ mV, 占输出 $V_{3\max}$ 的 0.11%, 即 l 在 50 ~ 60 mm 的范围内, 输出电压 $V_3 \rightarrow V_\sigma$ 。因此, 线圈间距选择在 50 ~ 60 mm 最为合适。

5.2 输入电压 V_1 的影响

输入电压的性能试验探究输入电压与输出电压的关系。 V_1 从 1 V 至 10 V 进行一组循环的性能试验, 记录值为平均值, 配置盐水的电导率值为 40 ms/cm。图 11 和图 12 为输入电压信号 V_1 与输出电压信号 V_3 的实验数据关系图象和输入电压信号 V_1 与输出电压信号 V_3 的波形图。

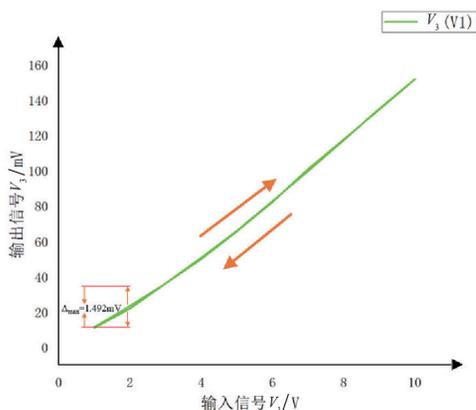


图 11 输入电压性能试验数据图

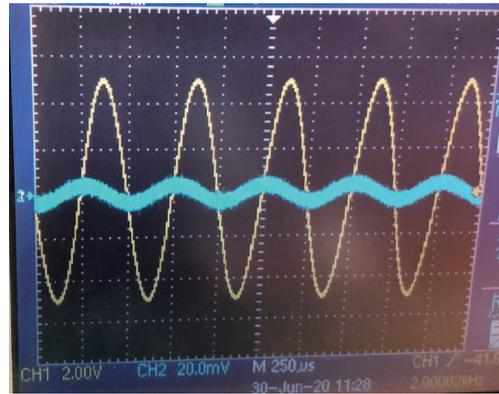


图 12 输入电压 V_1 与输出电压 V_3 的波形图

如图 11 所示, 输入电压与输出电压呈线性关系, 与理论模型相符合, 输入信号 V_1 越大, 输出信号 V_3 也越大, V_3 的数量级基本在 10 mV 以上, 达到了被检测的信号大小标准。如图 12 所示, 输入电压 V_1 与输出电压 V_2 在示波器上的波形对比, 通道 1 的黄色波形为输入电压的波形, 通道 2 的蓝色波形为输出电压的波形, 输入电压的波形比输出电压的波形线宽更细, 清晰度更高。

在循环实验中, 电压上升与电压下降的过程中, V_3, V_1 曲线基本重合。当 $V_1=2$ V 时, 对应着 V_3 的 $\Delta_{\max}=1.492$ mV, 输出信号 $V_{3\max}$ 为 23.312 mV, 差值占比为 6.4%。出现此现象的原因是: 在信号发生器进行电压上升时, 此时信号发生器刚开始工作, 输入电压 V_1 从 1 V 到 2 V 时, 信号输入不稳定带来了一定的系统误差。从图 12 可以看出, 输出电压的波形线宽更宽, 说明输出电压的小信号受信号噪音的影响较为严重。

市场上常见的感应式电导率测量仪器的准确度可达量程的 $\pm 0.01\%$, 本文物理结构的误差相去较大。主要的测量误差排除人为的读数误差以外, 还包括响应迟滞导致的读数误差、连接导线电信号的相互干扰、各设备之间的信号干扰以及信号放大模块对信号的附加影响, 可在后续实验中采用更好的屏蔽导线, 做好设备之间的信号屏蔽, 采用更加精密的信号放大电路。

5.3 输入电压频率的影响

输入频率性能试验探究输入信号的频率与输出电压的关系, 为了确定合适的输入频率, 得到精确度更高的输出信号, 我们将每个频率下的误差进行了比较。图 13 为输入电压频率与输出信号 V_3 的实验数据关系以及误差范围图像。

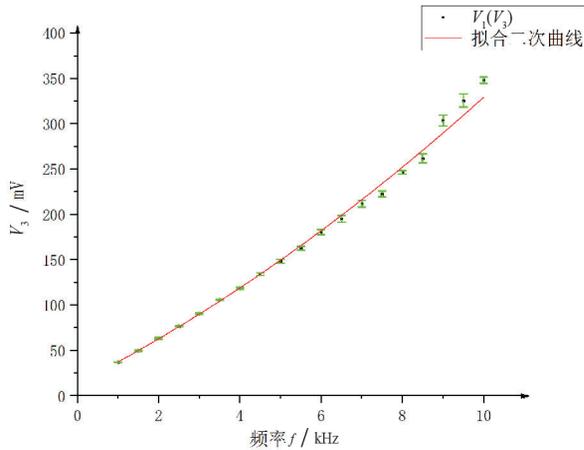


图 13 输入电压频率性能试验数据图

由图 13 可知, 输出信号 V_3 与输入频率 f 近似呈二次曲线关系, 符合理论模型, V_3 在 10 kHz 下最高可达到 300 mV 左右。输出信号 V_3 的误差因工作频率的增加而增加, $f \leq 5$ kHz 时, 误差在 $1\% \pm 0.3\%$; $f > 5$ kHz 时, 误差逐渐增加, 最高达到 2.24%。

随着工作频率的增加, 磁通量的变化速率逐渐滞后于交流电的工作频率, 磁滞损耗也随之增加, 导致输出信号波动变大, 信号误差增加。因此, 在保证较大输出信号的前提下, 可以适当降低工作频率以提高信号准确度, 工作频率可以保持在 1 ~ 5 kHz 的范围内。这样在海水盐度范围内进行测量时, 可以保证输出信号 V_3 百分位的准确度。

5.4 盐水电导率测试

海水电导率测试中用道万的温盐深仪来标定所配置盐水的电导率值, 验证在所设计的物理结构下, 输出电压 V_3 与电导率的对应关系。图 14 为

流体电导率与输出电压 V_3 的实验数据对应图像。

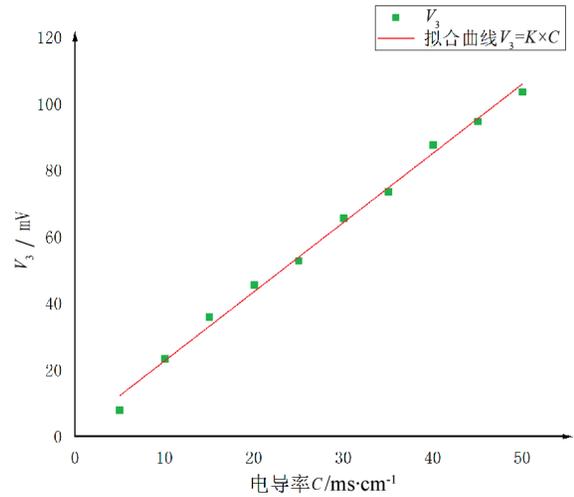


图 14 电导率测试数据图

从图 14 可看出, 输出电压 V_3 与盐水电导率 C 近似呈线性关系, V_3 随着盐水电导率值的增加而稳定增加。当 $C=5$ ms/cm 时, $V_3=7.87$ mV, 达到了被检测信号的级别, 但是略微偏离于拟合的一次曲线, 这是因为在低电导率的流体介质中, 线圈与流体介质的互感电动势很微弱, 经过放大后, 信号也会被外界的噪音所削弱, 导致输出信号略低于理论值。

如果要提高低电导率下的输出信号 V_3 , 可以采用更高磁导率的磁芯、更大感量的线圈; 在低于传感器功耗上限的情况下, 可以适当增加输入信号 V_1 的大小; 在二次电路开发时, 除了信号放大模块, 还要增加功率放大模块以及带通滤波模块, 尽量消除外界的干扰信号。

6 结 论

本文采用磁芯材质为坡莫合金的物理结构下, 输出信号 V_3 量级可以达到 mV 级别, 能够在后续的海水电导率测量时进行捕捉与放大。当磁芯线圈间距在小于 40 mm 时, 输出信号的线圈之间的互感电动势 V_L 占比较大, 因此在探头内部物理结

构设置时,磁芯线圈的间距不可过近。在结合小型化的设计原则上,本文将线圈间距设置为 50 mm,输出信号中线圈与流体介质的互感电动势 V_e 占比较大,可提高读数的准确度。

本文的物理结构中,输入信号 V_1 与输出信号 V_3 之间呈线性关系与理论模型相符合,不过最大误差为 6.4%,而市场上普遍应用的感应式电导率测量仪器,准确度可达量程的 $\pm 0.01\%$,因此本物理结构的误差与市场的产品相比相差还较大。需要在后续实验中做好导线和设备的信号屏蔽以及

采用更加精密的信号放大电路板,来提高信号的准确度与线性度。为了提高输出信号 V_3 的幅值,可以适当增加工作频率,但是要保证百分位的准确度,需要尽量选择小于 5 kHz 的工作频率。本物理结构下,5 kHz 的工作频率最为合适。

本文物理结构输出信号 V_3 与电导率值呈近似的线性关系,在低电导率下的相应略微低于理论值,可以采用更高磁导率的磁芯,增加线圈感量,并且在二次电路开发中,增加带通滤波模块,增加低电导率下输出信号的稳定性。

参考文献:

- [1] Bester-Rogac M, Habe D. Modern advances in electrical conductivity measurements of solutions[J]. Acta Chimica Slovenica, 2006,(3):391-395.
- [2] Wang P M, Anderko A, Young R D. Modeling electrical conductivity in concentrated and mixed-solvent electrolyte solutions[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2004,(25):8083-8092.
- [3] 刘雪堂. 海水盐度测量技术 [M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [4] 李红志, 王云泉. 高精度 CTD 剖面仪电导率传感器的研究和实验 [J]. 海洋技术学报, 2001,20(1):147-153.
- [5] P A Ramon, L G Javier. Constant-phase element identification in conductivity sensors using a single square wave[J]. Sens. Actuators A-Phys, 132 (2006) 122-128.
- [6] X Huang, R W Pascal, K Chamberlain, et al. A miniature, high precision conductivity and temperature sensor system for ocean monitoring[J]. IEEE Sens. J.2011, 11, 3246-3252.
- [7] 兰卉, 吴晟, 程敏, 等. 新型感应式电导率传感器技术研究 [J]. 海洋技术学报, 2014,33(3):18-22.
- [8] A J Fougere. New non-external field inductive conductivity sensor (NXIC) for long term deployments in biologically active regions[C]//OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition, 2000..
- [9] A J Fougere, M St Germain, F J Kelly. Field evaluation of a revolutionary CTD design[J]. OCEANS 2003 Proceedings, 2003,9(4):2249-2253.
- [10] A L Ribeiro, H M G Ramos, P M Ramos, et al. Inductive conductivity cell for water salinity monitoring[C]//Metrology for a Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 2006,
- [11] T T Pham, T Green, J Chen, et al. A Salinity Sensor System for Estuary Studies[J]. Applied Math Journal: Networks and Heterogeneous Media, 2009,4(2):381-392. .
- [12] R T Wood, A Bannazadeh, N Q Nguyen, et al. A salinity sensor for long-term data collection in estuary studies[C]//In Proceedings of the IEEE OCEANS, Sydney, Australia,2010.
- [13] S Wu, H Lan, J J Liang, Y Tian, et al. Investigation of the performance of an inductive seawater conductivity sensor[J]. Sens. Trans, 186 (2015): 43-48.
- [14] 都有为. 磁性材料进展 [J]. 物理, 2000,29(6):323-332.
- [15] 邱善乐. 一种新型感应式电导率传感器的设计 [J]. 录井工程, 2005,16(3):48-50.

Research on Multiparameter Performance of Type Inductive Conductivity Sensor

ZHANG Jia-hong¹, ZHANG Ji-jun¹, WANG Lin-jun¹, HAO Dao-you²

1. *School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 201900, China;*

2. *School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China*

Abstract: The detection structure of type inductive conductivity sensor (TICS) is not exposed, which can avoid the corrosion of core coil and improve the stability of seawater conductivity detection. However, the relative permeability of the magnetic core of inductive conductivity sensor is not only affected by external temperature and pressure, but also attenuates greatly with the increase of working frequency, resulting in a low output signal and reduced resolution. This paper analyzes the physical structure parameters and input signal parameters of the induction probe theoretically. Then the induction probe is customized according to the structural parameters of theoretical analysis. Through experimental demonstration, the selection basis of structural parameters and working signal parameters of the probe are obtained, which can improve the accuracy and resolution of output signal better.

Key words: TICS; conductivity; relative permeability