

液体电导率的测定

【实验目的】

- 1、了解互感式液体电导率传感器工作原理；
- 2、测量室温下饱和食盐水溶液的电导率；
- 3、测量食盐水溶液电导率与温度的变化。

【实验原理】

测量液体电导率传感器的内部是由两个半径相同的软铁基合金环电感线圈组成，每环各绕有一组线圈，两组线圈的匝数相同，如图1所示。两合金环同轴紧密排列并密封安装成中空圆柱状，如图2所示。

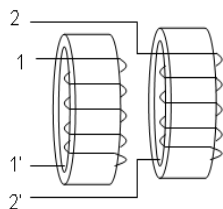


图1 电导率传感器内部

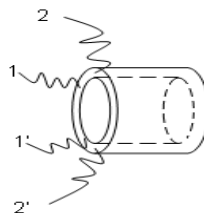


图2 电导率传感器外观

测量时，将该传感器浸没在待测的液体中。线圈 11' 接正弦信号发生器，频率约为 2.5kHz。信号发生器的信号输出 V_i 幅度可能存在慢漂移，漂移量如果超过某一规定范围，就要及时调整，保持输出幅度相同。线圈 22' 接交流电压表，测量感应的信号电压 V_o ，根据输入电压和输出电压的大小可计算出待测液体的电导率。

这种液体电导率测量装置的主要工作原理是：由信号发生器输出的正弦交变电流在绕组 11' 环内产生正弦交变磁场，该磁场在导电液体中产生正弦交变的感生电流，该感生电流在绕组 22' 环内产生交变的磁场，该磁场在绕组 22' 内又产生感生电动势，成为传感器的输出信号。

忽略磁滞效应，输出电压 V_o 是输入电压 V_i 的单调函数。在一定的输入电压 V_i 范围内，并且液体的电导率 σ 处于一定范围内时， σ 与 $\frac{V_o}{V_i}$ 成正比关系：

$$\sigma = K \left(\frac{V_o}{V_i} \right) \quad (1)$$

式中， K 为比例系数。

在测量装置中，盛放待测液体的容器很大，圆柱体外面的液体的电阻很小， V_o 的大小主要与传感器的中空圆柱体内的液体（简称液体柱）有关，因此可由液体柱来计算液体的电导率。液体柱电阻为

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{S}, \quad \sigma = \frac{1}{R} \frac{L}{S} \quad (2)$$

式中， L 为液体柱的长度， S 为液体柱的截面积。比较（1）和（2）可得到：

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{1}{K} \frac{L}{S} \right) \frac{1}{R} = B \frac{1}{R} \quad (3)$$

式中： $B = \left(\frac{1}{K} \frac{L}{S} \right)$ ，也可写成： $K = \frac{1}{B} \frac{L}{S}$ 。

代入（2）可得到：

$$\sigma = \left(\frac{1}{B} \frac{L}{S} \right) \frac{V_o}{V_i} \quad (4)$$

式（4）可知， σ 与中空圆柱体长度 L 、截面积 S 和比例常数 B 有关。

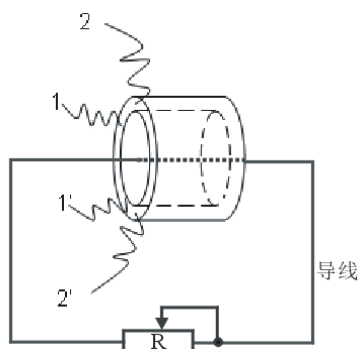


图 3

注意：实验时，为了精确确定比例常数 K 及 B ，本来需要配置多种 σ 已知的液体，但是这种操作比较困难。为此，我们用外接标准电阻来替代已知 σ 的液体，使实验方便准确。具体方法是将传感器置于空气中，将一根导线穿过传感器的中空圆柱体，接在测试仪上标准电阻两端构成电阻回路，如图 3 所示。改变不同的电阻 R ，测量对应的 $\frac{V_o}{V_i}$ ，作关系曲线，

求出 B 和 K 。

实验证明，标准液体的电导率受温度的影响较大，所以实际应用中都不用标准盐水进行定标。采用标准电阻器校准法可以将校准误差控制在 0.1%以内。

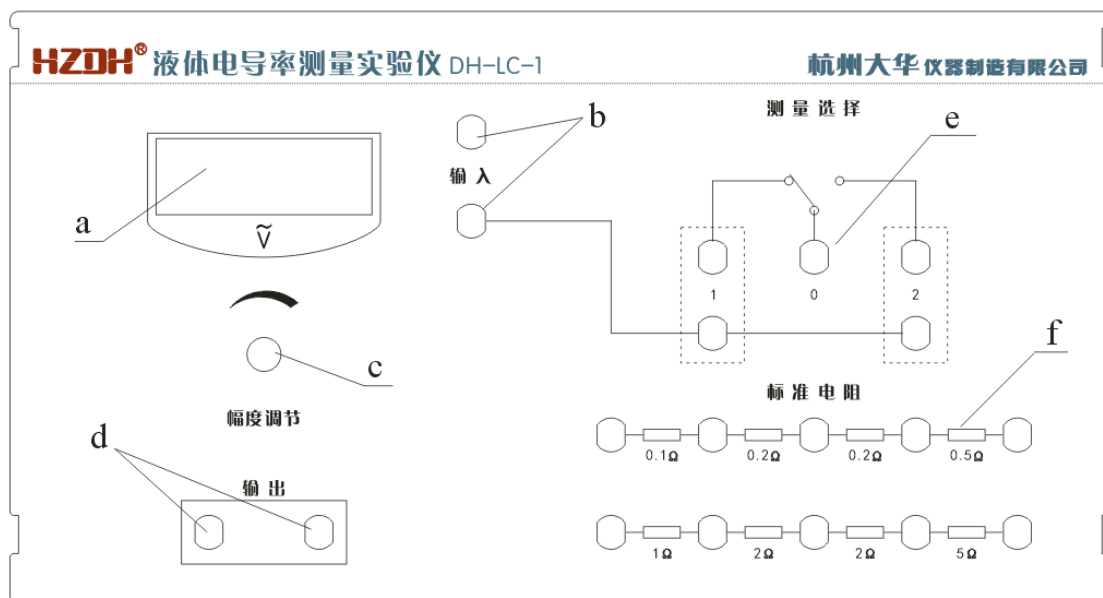
注意：校准用标准电阻器为交流标准电阻，非普通精密直流电阻。

【实验仪器】

DH-LC-1 电导率测量实验仪、游标卡尺（自备）、电子天平（自备）、连接导线等组成。

主要技术参数如下：

- 1、交流信号源：正弦波，输出电压 0-1.999V 可调，频率约 2.5KHz；
- 2、三位半数字交流电压表：量程 0-1.999V，分辨率 0.001V；
- 3、传感器：铁基合金环互感器；
- 4、单刀双掷开关 1 只；
- 5、交流标准电阻器：0.1 Ω 、0.2 Ω 、0.2 Ω 、0.5 Ω 和 1 Ω 、2 Ω 、2 Ω 、5 Ω ，准确度 0.05%；
- 6、量杯：1000mL；
- 7、食盐 500g。



- | | | |
|------------|-------------|----------------|
| a. 交流电压表 | b. 交流表电压输入端 | c. 交流信号源输出幅度调节 |
| d. 交流信号源输出 | e. 单刀双掷开关 | f. 标准电阻 |

图 4. 液体电导率测量实验仪 面板图

【实验步骤】

1. 绘制液体电导率传感器定标的实验线路，参考图 3 和图 5 接线；使用仪器面板上的测量选择开关，切换测量输入电压 V_i 和输出电压 V_o 。

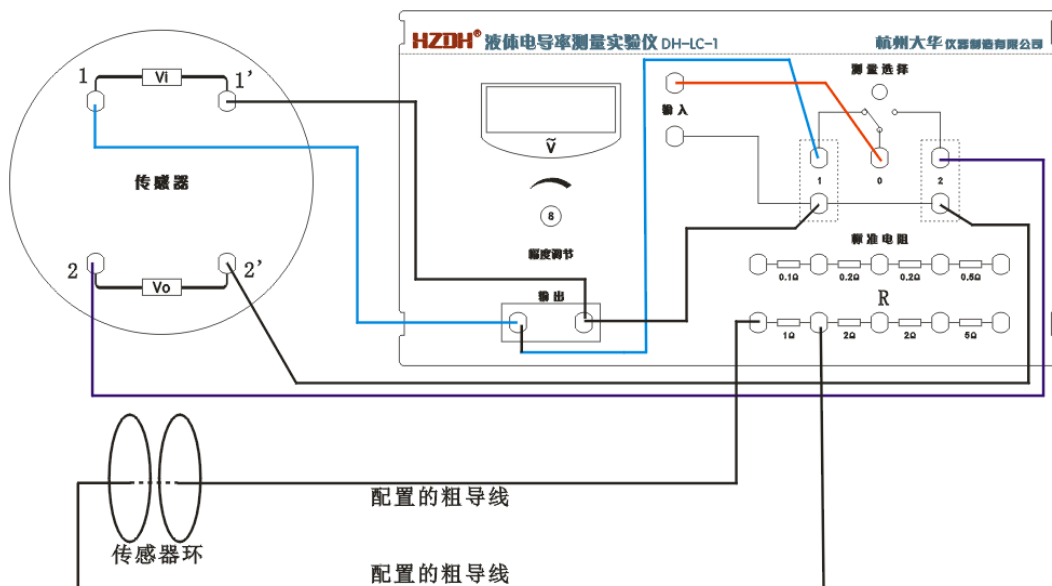


图 5 定标实验接线图(传感器置空气中且中穿导线, $R=1\ \Omega$ 时)

2. 给定传感器的输入电压 V_i 在 1.700V – 1.9000V 之间某一固定值, 改变校准用标准电阻值, 记录对应的传感器输出电压 V_o , 记录在数据表格中。
3. 根据记录的数据, 绘制 $\frac{V_o}{V_i} - \frac{1}{R}$ 曲线, 选择线性部分作曲线拟合, 得到直线部分斜率 B 。
4. 测量传感器的相关尺寸, 计算 $K = \frac{1}{B} \frac{L}{S}$, 写出仪器测量液体电导率的计算公式和相对不确定度公式。
5. 根据校准的 K 值, 测量常温下饱和食盐水溶液的电导率 (接线图参见图 6)。

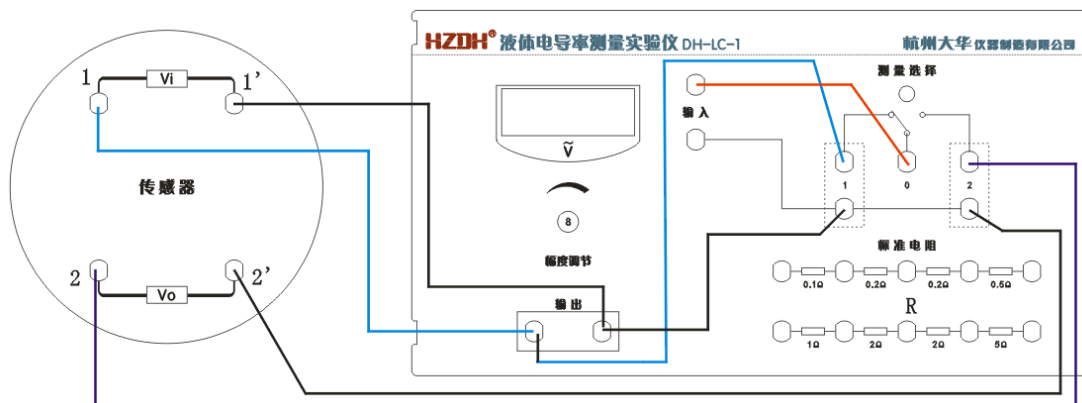


图 6 测量饱和食盐水溶液的电导率接线图（传感器置于待测液体中）

【实验举例】

注意：实验数据与每台仪器铁基合金环互感器参数、实验环境温度，食盐水温度和浓度等有关，数据仅供参考。

1. 测量 $\frac{V_0}{V_i} - \frac{1}{R}$ 数据如表 1 所示。

表 1：温度 24.5℃

R(Ω)	Vi(V)	Vo(V)	1/R(s)	Vo/Vi	R(Ω)	Vi(V)	Vo(V)	1/R(s)	Vo/Vi
0.1	1.807	1.665	10.000	0.921	2.3	1.807	0.865	0.435	0.479
0.2	1.807	1.631	5.000	0.903	2.4	1.807	0.837	0.417	0.463
0.3	1.807	1.592	3.333	0.881	2.5	1.807	0.816	0.400	0.452
0.4	1.807	1.542	2.500	0.853	2.6	1.807	0.783	0.385	0.433
0.5	1.807	1.5	2.000	0.830	2.7	1.807	0.778	0.370	0.431
0.6	1.807	1.433	1.667	0.793	2.8	1.807	0.748	0.357	0.414
0.7	1.807	1.421	1.429	0.786	2.9	1.807	0.737	0.345	0.408
0.8	1.807	1.354	1.250	0.749	3.0	1.807	0.726	0.333	0.402
0.9	1.807	1.329	1.111	0.735	3.5	1.807	0.638	0.286	0.353

1.0	1.807	1.289	1.000	0.713		4.0	1.807	0.588	0.250	0.325
1.1	1.807	1.22	0.909	0.675		4.5	1.807	0.527	0.222	0.292
1.2	1.807	1.184	0.833	0.655		5.0	1.807	0.486	0.200	0.269
1.3	1.807	1.145	0.769	0.634		5.5	1.807	0.443	0.182	0.245
1.4	1.807	1.104	0.714	0.611		6.0	1.807	0.412	0.167	0.228
1.5	1.807	1.074	0.667	0.594		6.5	1.807	0.38	0.154	0.210
1.6	1.807	1.026	0.625	0.568		7.0	1.807	0.362	0.143	0.200
1.7	1.807	1.016	0.588	0.562		7.5	1.807	0.337	0.133	0.186
1.8	1.807	0.971	0.556	0.537		8.0	1.807	0.318	0.125	0.176
1.9	1.807	0.953	0.526	0.527		8.5	1.807	0.298	0.118	0.165
2.0	1.807	0.949	0.500	0.525		9.0	1.807	0.287	0.111	0.159
2.1	1.807	0.912	0.476	0.505		9.5	1.807	0.271	0.105	0.150
2.2	1.807	0.888	0.455	0.491		10.0	1.807	0.259	0.100	0.143

2. 根据表 1 数据，绘制 $\frac{V_0}{V_i} - \frac{1}{R}$ 曲线，如图 7 所示。

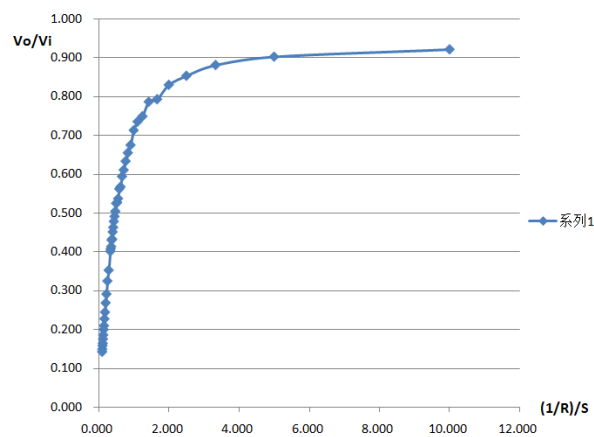


图 7

3. 取图 7 中线性部分，作 $\frac{V_0}{V_i} - \frac{1}{R}$ 直线图，如图 8 所示，并通过曲线拟合得到直线斜率 B。

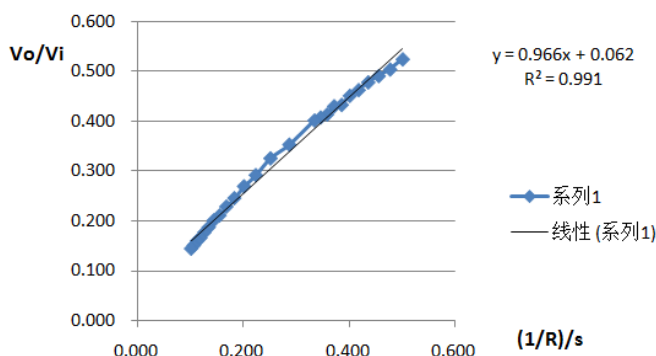


图 8

根据图 8 的曲线，作直线拟合，直线的斜率为： B=0.966。

4. 计算 K 值。

传感器中空部分尺寸： L= 29.8 mm， d=13.5 mm， $S = \pi(\frac{1}{2}d)^2 = 143.14\text{mm}^2$;

$$K = \frac{1}{B} \frac{L}{S} = 0.215\text{s/mm};$$

5. 测量某浓度食盐水的电导率

- (1) 盐水温度 40℃， Vi=1.806V， Vo=0.228 V；

$$\sigma = K \frac{V_o}{V_i} = 0.215 * 0.228 / 1.806 = 0.0271 \text{ s/mm}$$

- (2) 盐水温度 36℃， Vi=1.806V， Vo=0.215 V；

$$\sigma = K \frac{V_o}{V_i} = 0.215 * 0.215 / 1.806 = 0.0256 \text{ s/mm}$$

- (3) 盐水温度 33℃， Vi=1.806V， Vo=0.205 V；

$$\sigma = K \frac{V_o}{V_i} = 0.215 * 0.205 / 1.806 = 0.0244 \text{ s/mm}$$

- (4) 盐水温度 27℃， Vi=1.806V， Vo=0.187 V；

$$\sigma = K \frac{V_o}{V_i} = 0.215 * 0.187 / 1.806 = 0.0222 \text{ s/mm}$$

(5) 盐水温度 25℃，Vi=1.806V，Vo=0.182 V；

$$\sigma = K \frac{V_o}{V_i} = 0.215 * 0.182 / 1.806 = 0.0217 \text{ s/mm}$$

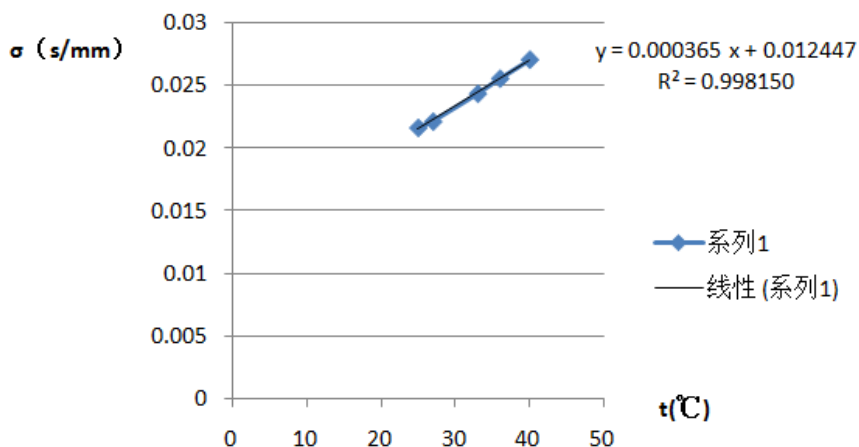


图9 盐水的电导率随温度的变化关系

【注意事项】

- 1、实验时，传感器输入电压 Vi 取值范围推荐为 1.7~1.9V。
- 2、测量饱和食盐水在某一温度下的电导率时，待盐充分溶解后再开始实验。
- 3、常用食盐均加碘，其溶液与标准 NaCl 液有区别。
- 4、传感器中空液体柱外非无限大盐水溶液，存在一定电阻。
- 5、实验完成后，须将传感器清洗干净并擦干，防止腐蚀。