

盐溶液电导率与浓度和温度的关系测量

陈丽梅, 程敏熙, 肖晓芳, 黄佐华

(华南师范大学 物理与电信工程学院, 广东 广州 510006)

摘 要:为了解盐溶液电导率与浓度和温度的变化规律,利用 FD-LCM-A 液体电导率测量实验仪测量了常温下盐溶液(NaCl)电导率与浓度的关系,以及不同浓度盐溶液电导率随温度的变化关系。首先,测量了常温下(30 ℃)浓度 0.244 2 ~ 2.442 mol/L 的电导率;接着,测量了浓度 0.122 1 ~ 2.930 mol/L 的盐溶液的电导率随温度的变化关系。实验结果显示:在常温下,盐溶液在 0.244 2 ~ 2.442 mol/L,电导率与浓度呈线性关系。不同浓度的盐溶液电导率随温度的变化关系是:0.244 2 mol/L 以下浓度盐溶液的电导率几乎不受温度影响;0.244 2 mol/L 以上浓度盐溶液的电导率随温度单调上升。

关键词:盐溶液;电导率;浓度;温度

中图分类号:O 4-34;O 646.1 + 2 **文献标识码:**A **文章编号:**1006 - 7167(2010)05 - 0039 - 04

Measurement of the Relationship between Conductivity of Salt Solution and Concentration and Temperature

CHEN Li-mei, CHENG Min-xi, XIAO Xiao-fang, HUANG Zuo-hua

(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to find out the law between conductivity of salt solution and concentration and temperature, the relationship between conductivity of salt solution and concentration and temperature was tested by using FD-LCM-A conductivity experiment instrument. Firstly, the conductivities of salt solution at the concentrations from 0.244 2 mol/L to 2.442 mol/L were tested in a room temperature. Secondly, the relationship between conductivity of salt solution and temperature were tested with concentrations at the range of 0.122 1 ~ 2.930 mol/L. The results of the experiment show that: the conductivity is directly proportional to the concentration in the range of 0.224 2 ~ 2.442 mol/L in room temperature. The conductivities of salt solution in different concentrations vary with temperature, that the conductivities of salt solution at the concentration of lower than 0.244 2 mol/L are hardly affected by temperature, and that the conductivities of salt solution at the concentration of higher than 0.244 2 mol/L increase monotonically with the temperature.

Key words: salt solution; conductivity; concentration; temperature

1 引 言

在物理和化学实验中,对液体电导率的测量一般只是测量某一浓度的电导率,但对不同浓度与电导率

的关系以及温度与电导率的变化关系关注不够^[1-7]。本文测量了在常温下(30 ℃)10 种不同浓度的盐溶液(NaCl)的电导率,得出了电导率和浓度的关系;然后研究了在不同浓度下(配备了 11 组不同浓度的盐溶液),测量盐溶液电导率随温度的变化关系,根据实验结果,分析了盐溶液的浓度、温度对电导率的影响。

2 实验原理

实验中使用的 FD-LCM-A 液体电导率测量实验装置中,传感器通交流电,所以测量时不会因接触电动势问题干扰测量结果,并且因探测线圈不与待测液体直

收稿日期:2009 - 09 - 24

基金项目:广东省高等教育教学改革工程资助项目(20070018)

作者简介:陈丽梅(1985 -),女,湖南郴州人,硕士生,主要研究方向为物理课程与教学论。E-mail:568014639@qq.com

通信作者:程敏熙(1962 -),男,广东四会人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为光电技术与系统,物理实验设计。

Tel.:020-39310066; E-mail:chengmx@senu.edu.cn

接接触,故不产生任何化学反应,因此该装置可长期连续使用。

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

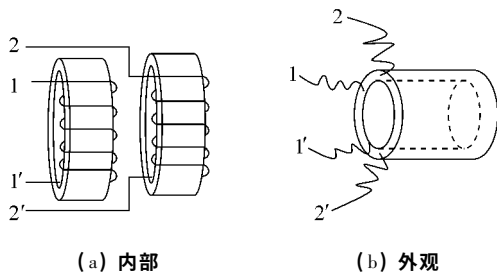


图1 电导率传感器

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2.5 kHz。信号发生器的信号输出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,根据电压的大小可计算出待测液体的电导率。

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,同时在导电液体中产生正弦交变的感生电流,且在绕组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 U_o 是输入电压 U_i 的单调函数。在一定的输入电压 U_i ,且液体的电导率 σ 处于一定范围内时, σ 与 U_o/U_i 成正比关系:

$$\sigma = K(U_o/U_i) \quad (1)$$

式中, K 为比例系数。

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, U_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 σ 。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。比较式(1)和(2)可得:

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

代入式(2)可得到:

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

式(4)表明,用本传感器测量液体的 σ 时, σ 与 L 、 S 、 U_o/U_i 和比例常数 B 有关。实验中,为了精确确定比例常数 K 及 B ,本来需要配备多种 σ 已知的液体,但这种操作比较困难。为此,实验装置采用外接标准

电阻来替代已知 σ 的液体,使实验方便准确。如图2所示,将一根导线穿过传感器的中空圆柱体,接在标准电阻的两端成为电阻回路。另外,在该实验中,因为涉及到温度的测量,所以在原实验仪器的基础上增加了温度计。

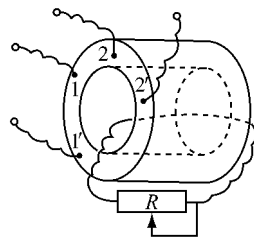


图2 传感器中空圆柱体

3 比例常数 K 及 B 的确定

调节 U_i 的幅度,保持有效值在1.7~1.9 V内的某恒定值,本次实验是使 U_i 分别保持在1.80、1.86、1.92、1.98 4个恒定值,让电阻 R 以首项 $R_1 = 0.4$,公差 $d = 0.4$ 等差数列递增,在 U_i 的每个固定值, R 每改变一次,记录输出电压值 U_o ,每个恒定值 U_i ,测量6次,共24组。实验测得的值如表1所示。

把实验数据代入式(3),得到的关系如图3所示。可以看到,图中感生电流在较小的某一范围内,曲线是线性的。于是可取 $1/R$ 从0.066 0~0.313, U_o/U_i 从0.066 0~0.202的线性部分作图,拟合如图4所示。直线斜率 $B = 0.650 \pm 0.004$;相关系数 $R = 0.999$,可知 (U_o/U_i) 与 $1/R$ 线性关系良好^[9-10]。因为实验所配备的溶液电导率是在以上的线性范围内,所以 B 值有应用意义。

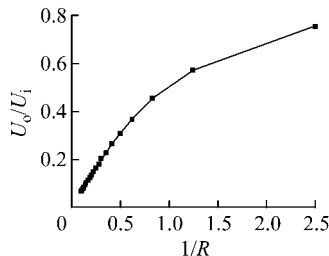


图3 $U_o/U_i - 1/R$ 关系图

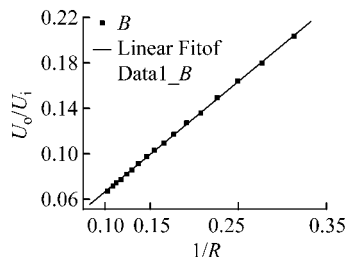


图4 $U_o/U_i - 1/R$ 拟合图

已知 $L = (29.62 \pm 0.18)$ mm,液体柱的直径 $d =$

表1 U_o/U_i 与 $1/R$ 关系表

R	U_i	U_o	U_o/U_i	$1/R$	R	U_i	U_o	U_o/U_i	$1/R$
0.4	1.80	1.35	0.750	2.500	5.2	1.92	0.242	0.126	0.126
0.8	1.80	1.03	0.573	1.250	5.6	1.92	0.223	0.116	0.116
1.2	1.80	0.819	0.455	0.833	6.0	1.92	0.208	0.108	0.108
1.6	1.80	0.658	0.366	0.625	6.4	1.92	0.195	0.102	0.102
2.0	1.80	0.559	0.310	0.500	6.8	1.92	0.186	0.097	0.097
2.4	1.80	0.474	0.263	0.417	7.2	1.92	0.172	0.090	0.090
2.8	1.86	0.423	0.227	0.357	7.6	1.98	0.167	0.084	0.084
3.2	1.86	0.375	0.202	0.313	8.0	1.98	0.160	0.081	0.081
3.6	1.86	0.333	0.179	0.278	8.4	1.98	0.151	0.076	0.076
4.0	1.86	0.303	0.163	0.250	8.8	1.98	0.144	0.073	0.073
4.4	1.86	0.275	0.148	0.227	9.2	1.98	0.138	0.070	0.070
4.8	1.86	0.251	0.135	0.208	9.6	1.98	0.131	0.066	0.066

$(13.61 \pm 0.30) \text{ mm}^{\text{[8]}}$, 由 $K = L/(BS)$ 计算得 K 值、不确定度 ΔK 或 $\Delta K/K$ 值。

$$S = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = 1.46 \times 10^{-4} (\text{m}^2)$$

$$K = \frac{L}{BS} = 313 (\text{S} \cdot \text{m}^{-1})$$

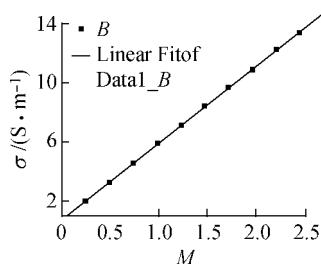
4 盐溶液 σ 随浓度的变化

实验在室温 ($t = 30^\circ \text{C}$) 下进行, 溶液体积 $V = 700 \text{ mL}$ 不变, 测量不同摩尔浓度下的 σ , 测量数据如表 2 所示。

表2 盐溶液摩尔浓度与电导率的关系

质量 /g	摩尔浓度 / ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	电导率 σ / ($\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$)	质量 /g	摩尔浓度 / ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	电导率 σ / ($\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$)
10	0.244 2	2.000	60	1.465	8.400
20	0.488 4	3.219	70	1.709	9.667
30	0.732 6	4.533	80	1.954	10.80
40	0.976 8	5.800	90	2.198	12.20
50	1.221 0	7.133	100	2.442	13.33

以摩尔浓度 M 为横轴, σ 为纵轴, 用 Origin 处理数据如图 6 所示。

图5 摩尔浓度 M —电导率 σ 关系

由图 5 可看出, 在室温下 (30°C), σ 随 M 的增加而增加, 呈线性关系。在化学上的解释是: 氯化钠属于

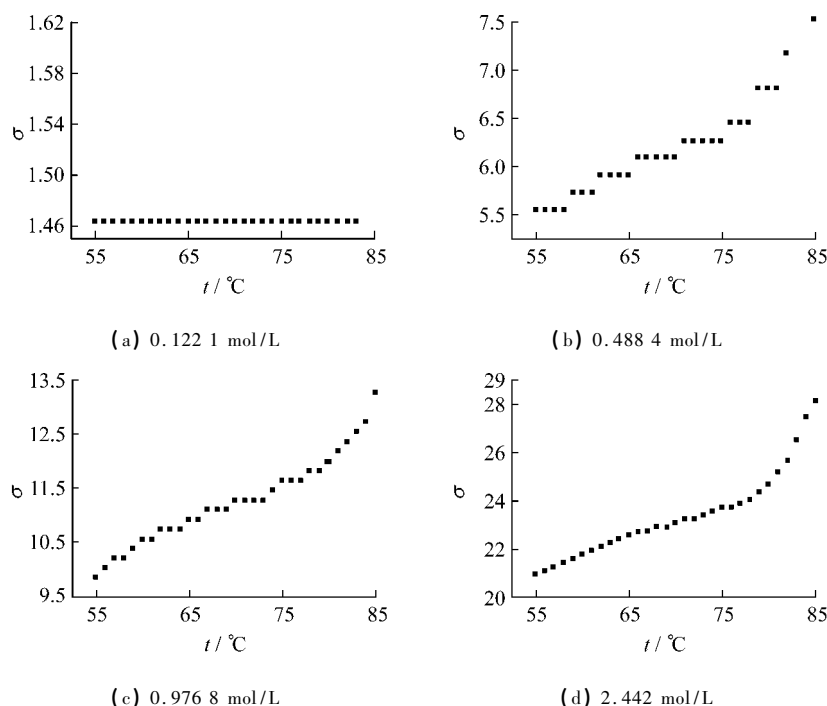
强电解质, 强电解质溶液浓度增加, 溶液中的载流子数目增多, σ 也就增加^[11]。由实验得出, M 在 $0.244 2 \sim 2.442 \text{ mol/L}$ 内呈线性关系。拟合直线的截距 $A = 0.753 8 \pm 0.043 2$, 斜率 $B = 5.183 \pm 0.028 5$, 相关系数 $R = 0.999 9$, 可知 M 与 σ 线性关系良好。所以该直线可以写成 $\sigma = 5.183M + 0.753 8$, σ 的标准差 $\Delta\sigma = 0.063 28$ ^[9-10]。在以上浓度范围内, 已知盐溶液的 M , 可以很方便地算出 σ 。

5 盐溶液 σ 随温度的变化

本实验配备了 11 种不同摩尔浓度 ($0.122 1 \sim 2.930 \text{ mol/L}$) 的溶液, 测量了溶液在 $55 \sim 85^\circ \text{C}$ 的 σ 与温度的关系, 因为 $M = 0.122 1, 0.244 2 \text{ mol/L}$ 有类似的变化趋势; 浓度为 $0.488 4, 0.732 6 \text{ mol/L}$ 有类似的变化趋势; 浓度在 $0.976 8 \sim 2.930 \text{ mol/L}$ 也有类似的变化趋势, 所以本文只给出其中 4 种浓度的 $\sigma - t$ 关系结果图, 结果如图 6 所示。

由图 6(a) 可见, 浓度为 $0.122 1 \sim 0.244 2 \text{ mol/L}$ 的 σ 在 $55 \sim 83^\circ \text{C}$ 范围内, σ 几乎不受温度的影响, 此时温度对 σ 没有贡献, 只是温度在 84°C 以上时 σ 有一个突变; 图 7(b) 图线呈阶梯性形变化, 在某一小温度范围内, σ 基本不变, 但是随着温度的升高, 会跳升到某一点, σ 略有升高, 在之后的某一小温度范围内, σ 又基本不变, 如此下去, 这个小温度范围是不确定的, 跳转点也不成规律, 不过整体趋势是 σ 随着温度的升高而逐步增大; 图 7(c)、(d) 的变化规律类似, 总的趋势也是 σ 随着温度的升高而单调增大, 而且随着浓度的增加, 阶梯状的图线逐渐不明显。温度在 80°C 以后图线的上升趋势比 $55 \sim 80^\circ \text{C}$ 的上升趋势快。

化学上的解释是: 在浓度较稀的盐溶液中, 即使温度的升高会加快溶液中载流子的运动, 但是因为其数目有限, 限制了其导电能力, 所以在较稀的盐溶液中,

图6 $\sigma-t$ 的关系

电导率几乎不受温度的影响^[1]。随着浓度增大,载流子数目增多,而当温度升高时,载流子运动速率增大,所以,在浓度较高的盐溶液中,电导率随着温度的升高而增大^[2-4]。但是电导率从不受温度影响到随温度呈明显变化,有一个过度阶段,变化规律如图7(a)、(d)。因此,在超过某一浓度后,测量盐溶液电导率时要考虑温度对电导率的影响。

6 结 语

本实验研究得到了室温下(30 °C)盐溶液电导率与浓度的关系,以及不同浓度盐溶液的电导率与温度变化的关系。这对认识盐溶液电导率在不同浓度与不同温度下的物理和化学特性有十分积极的意义。

致谢 感谢复旦大学物理实验中心提供的实验器材。

参考文献(References):

- [1] 胡诞康. 溶液电导率测量的新进展 [J]. 机电一体化, 1995, 1(2): 42.

- [2] 李舒晨. 液体电导率电阻率直读测量装置 [J]. 物理实验, 1999, 20(8): 21-23.
- [3] 谭有广, 刘峰. 非接触测量液体电导率的仿真与实验分析 [J]. 电工技术, 2004(7): 69-71.
- [4] 宋小平. 溶液电导率的绝对测量方法 [J]. 化学分析计量, 2004, 13(6): 88-89.
- [5] 苏永慧, 刘光明. 电导率温度校正计算方法的改进 [J]. 江苏环境科技, 1997(3): 45-47.
- [6] 刘文通. 电导率测定中几个问题的探讨 [J]. 四川电力技术, 1995(5): 41-48.
- [7] 曹昌年. 电导率仪的改进 [J], 实用技术经验, 1998(3): 37-39.
- [8] 郑宗寅, 吴惠英. 电导率仪检定装置测量结果的不确定度评定 [J]. 科技创新导报, 2009: 56-57.
- [9] 刘绒侠, 王党杜. 用 Origin 软件处理物理实验数据 [J]. 大学物理实验, 2008, 22(2): 91-93.
- [10] 熊万杰, 黄振中. 用 Origin 软件处理实验数据 [J]. 大学物理实验, 2004, 17(2): 65-67.
- [11] 史长华, 唐树戈, 夏泉. 一种弱电解质溶液无限稀释摩尔电导率的方法 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(6): 912-914.
- [12] 傅献彩, 沈文霞, 姚天扬. 物理化学(下册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1979: 522-530.
- [13] 刘卫国. 电导率测定中的离子束缚 [J]. 工业安全与环保, 2009, 35(10): 15-18.

(上接第38页)

- [2] Xie W F. Fuzzy adaptive internal model control [J]. IEEE Tran on Industrial Electronics, 2000, 47(1): 193-202.
- [3] Passino K M, Stephen Yurkovieh. Fuzzy control [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001: 5-37.
- [4] 周红军, 陈国年. 基于 PLC 和组态软件的创新实验活动 [J]. 实验室研究与探索, 2008, 27(8): 178-181.
- [5] 刘金琨. 先进 PID 控制 Matlab 仿真 [M]. 2 版, 北京: 电子工业出版社, 2004: 10-56.
- [6] 张国良, 曾静. 模糊控制及其 Matlab 应用 [M]. 西安: 西安交通

大学出版社, 2002: 28-60.

- [7] Yen J, Langrari R, Zadeh L A. Industrial application of fuzzy logic and intelligent systems [M]. IEEE Press, 1995.
- [8] 王正林, 王胜开, 陈国顺, 等. Matlab/Simulink 与控制系统仿真 [M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2008: 125-137.
- [9] 余昌盛, 许力. 基于 Matlab 的复杂非线性控制实验系统实时控制研究 [J]. 实验室研究与探索, 2005, 24(4): 14-18.
- [10] 齐蓉, 肖维荣. 可编程计算机控制器技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 20-60.