

非平衡电桥原理的简易水质检测仪

鲁吕峰

(南京师范大学教师教育学院 江苏 南京 210000)

(收稿日期:2021-11-06)

摘要: 惠斯通电桥是《大学物理实验》中的经典实验,它利用平衡电桥来精确测量电阻值.在大学实验课上,它只能用来测量固态的电阻,笔者运用电桥电路的原理制作了一款可以用来精确测量液体电阻值的装置,可以用于评估被测水体的质量.最后应用该装置对不同水体进行了一系列研究,得到一系列有意义的结果.

关键词: 非平衡电桥 水质检测 TDS 物理实验

1 研究背景

惠斯通电桥是《大学物理实验》中的经典实验,它利用平衡电桥来测量电阻值,科学技术不断进步,对于惠斯通平衡电桥的灵敏度也提出了较高的要求,国内外也有很多的机构在研究如何提高惠斯通电桥灵敏度.同时,在大学物理实验室中,我们通常用它来测量固态的电阻,笔者思考能否适当改进该装置从而来测量液体的电阻.

随着城市生活质量的提高和环境污染的加剧,社会越来越关注饮用水的健康与安全.于是设想利用所学的实验原理去设计实验仪器来测量液体的电导率.本文决定利用惠斯通平衡电桥的原理设计一个非平衡电桥,使该电桥可以测量液体的电导率^[1].本文既对传统的惠斯通平衡电桥实验进行了改进,对改进的仪器进行精准度的验证,同时也利用改进后的仪器进行水质检测.

2 非平衡交流电桥原理

2.1 传统惠斯通平衡电桥缺陷与不足

大学物理实验室主要采用平衡电桥来测量电阻,但惠斯通电桥受组成结构、各元件本身性能等因素的影响,不可避免地存在着测量误差.同时在实验室中主要是利用惠斯通平衡电桥来测量固体的电阻,无法测量液体的电阻^[2].本文利用非平衡交流电桥来检测液体电阻,其原理如图1所示.

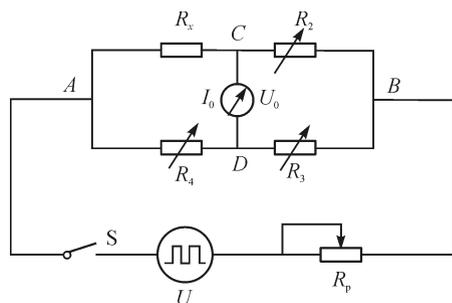


图1 非平衡交流电桥检测液体电阻原理

如图1所示为非平衡电桥的原理图,电源 U 为交流方波电源,当电流方向从 A 到 B 时, CD 间的电势差为

$$V_1 = \frac{R_4 U}{R_4 + R_3} - \frac{R_x U}{R_x + R_2} \quad (1)$$

当电流方向从 B 到 A 时, CD 间的电势差为

$$V_2 = \frac{R_3 U}{R_4 + R_3} - \frac{R_2 U}{R_x + R_2} \quad (2)$$

可以看出, $V_2 = -V_1$ 于是有

$$U_0 = \frac{R_4 R_2 - R_3 R_x}{(R_3 + R_4)(R_x + R_2)} U \quad (3)$$

由此公式可得

$$R_x = \frac{U(R_4 R_2) - U_0(R_3 + R_4)R_2}{U_0(R_3 + R_4) + R_3 U} \quad (4)$$

2.2 水液体的电阻测量原理

2.2.1 分压器原理

当在两个电阻之间串联施加一个输入电压(如图2所示)时,可以计算两个电阻之间的输出电压.如果两个电阻的值相同,输出电压是输入电压的一半,用水样代替 R_1 ,输出电压会随着样品的纯度而变化,可以将其与参考电压(如图3所示)进行比较.

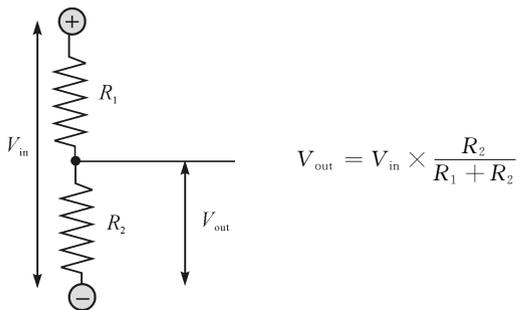


图2 分压器输出电压图

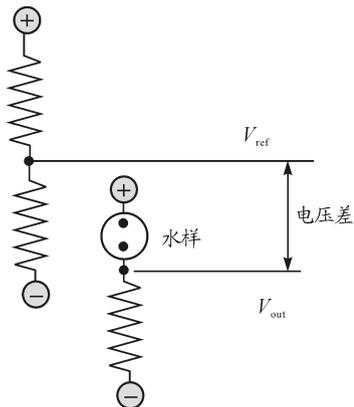


图3 输出电压与参考电压的电压差

2.2.2 电压放大原理

因为输出电压和参考电压之间的差别可能很小,本文采用了运算放大器对电压差进行了放大,运算的符号如图4所示.

三角形中的加号和减号分别表示“同相”和“反

相”输入. 运算放大器的输出随着非逆变输入的增加而增加,或者随着逆变输入的增加而减少.

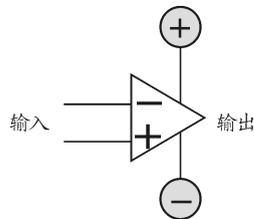


图4 运算放大器

图5显示了在一个电路中使用水样和参考电压作为输入的运算放大器. 本文用一个电位器代替了其中一个电阻,这样就可以通过对逆变输入的负反馈来控制放大功率.

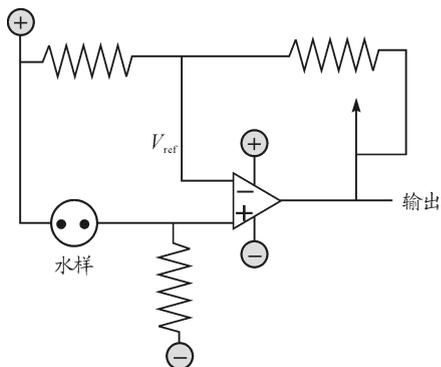


图5 电压放大原理图

2.2.3 非平衡电桥水质检测仪电路图

如图6所示为非平衡电桥水质检测仪电路图^[3].

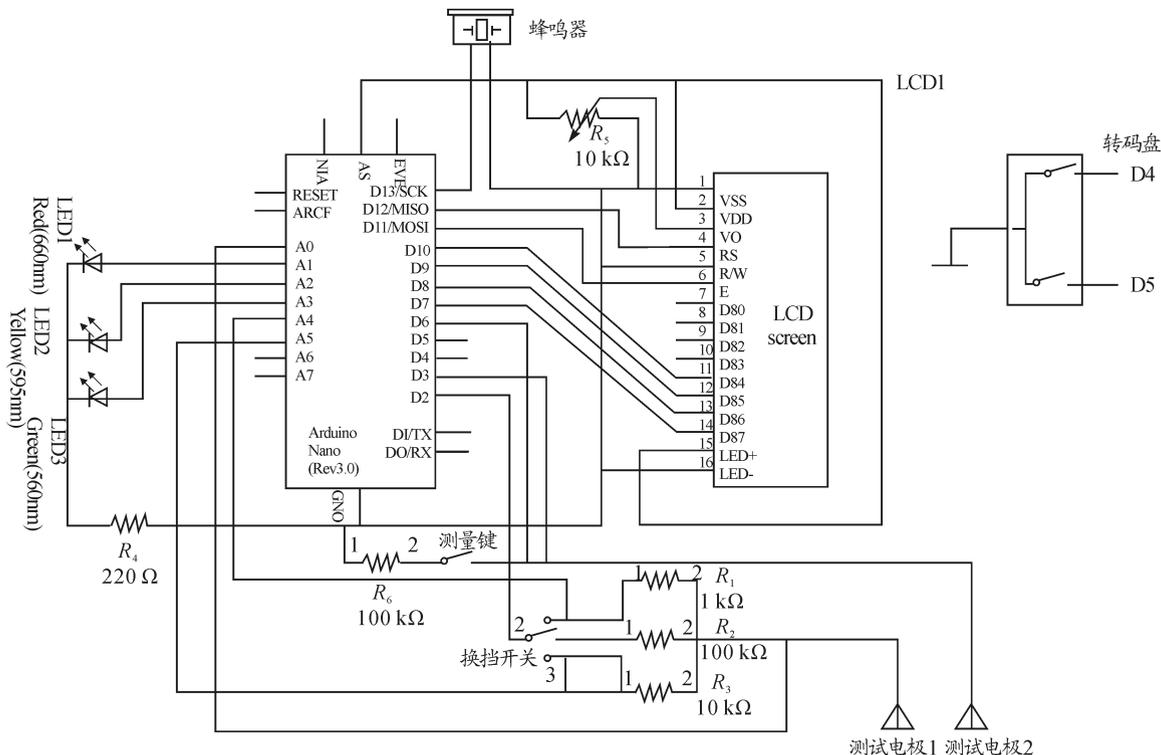


图6 非平衡电桥水质检测仪电路图

2.3 离子积聚效应

液体中含有电解质,给液体通上直流电以后,阴离子会朝着电源的正极积聚,同时,阳离子会朝着电源的负极积聚,这样会导致在测量的过程中,液体的正负离子会朝着两极积聚,这就是液体中的离子积聚效应.液体电阻的测量值会受到很大的影响,实验会产生较大误差.为尽量减少该误差,本文采用交流电供电的方式进行液体电阻的测量.

3 水的 SDT 及总硬度和水的电导率的关系

3.1 溶液的电导率

溶液是由至少两种物质组成的均一、稳定的混合物,被分散的物质(溶质)以分子或更小的质点分散于另一物质(溶剂)中.导体可以分为离子型导体和分子型导体两大类,而电解质溶液为最常见的离子型导体.电流在通过任何一种导体时,都将会受到一种阻力的作用,称为电阻,用符号 R 表示.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

电解质溶液的导电能力用电导、电导率值来表示,电导是电阻的倒数,电导率是电阻率的倒数,用 G 表示电导, K 表示电导率,有 $G = \frac{1}{R}$, $K = \frac{1}{\rho}$ 可得

$$G = \frac{1}{R} = \frac{S}{\rho L} = K \frac{S}{L}$$

电导率越大,物质的导电性能越强,电阻就越小,反之物质的导电性越差,其电阻就越大.

因此,通常以溶液的电阻率的倒数来衡量物质导电能力的大小,溶液的电导率能反映出水中电解质浓度的大小,因此水的电导率成为衡量水质好坏的一个重要指标.

3.2 电导率的测量方法

通常而言,电导率测量有 3 大方法,分别是电极法、电磁法和超声波法.其中应用最为广泛的是双电极电导率测量方法^[4],在大学物理实验室中,通常使用惠斯通平衡电桥,通直流电来进行电阻的测量,得知惠斯通电桥分为平衡电桥和非平衡电桥,可以通直流电和交流电,本文对此实验仪器进行了一个改进,考虑如果通直流电的话,水中的电解质会进行两极的分化,所测的电阻会很 inaccurate,会呈现电阻增大

的现象,所以采用非平衡电桥同时通交流电来进行水的电阻测量.

3.3 TDS 与水的电导率的关系

TDS 是用来衡量水中所有离子的总量,通常以 ppm 表示,TDS 可用此公式表示

$$\text{TDS} = [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+] + [\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-]$$

在排除 TDS 值极高和极低的特殊情况外,TDS 值越高,水中所含的无机物和有机物溶质含量越高,即水质越差;TDS 值越低,水中所含的无机物和有机物溶质含量越低,即水质越好,水的电导率可以间接反映水的 TDS 值.

3.4 水的硬度与水的电导率的关系

水的硬度是指水中钙、镁离子的浓度,硬度单位为 ppm,1 ppm 代表水中碳酸钙含量 1 毫克 / 升 (mg/L). 水溶液的电导率直接和溶解固体量浓度成正比,而且固体量浓度越高,电阻率越大,利用电导率可以间接得到水的总硬度值.

3.5 非平衡电桥水质检测仪

图 7 和图 8 分别为非平衡电桥水质检测仪的外观图与其操作面板图.

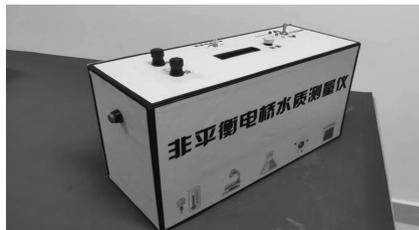


图 7 非平衡电桥水质检测仪外观图



图 8 非平衡电桥水质检测仪面板图

显示屏中会显示所测液体的电阻大小、电阻的不确定度以及液体的 TDS. 上方测量电路频率旋钮用于改变测量电路中方波交流电的频率. 水质选择拨杆用于选择我们所测液体的水质区间,以得到更精确的阻值. 按下测量按钮即可开始测量.

4 非平衡电桥水质检测仪性能分析

4.1 对于固体电阻测量

首先,本文通过对固定阻值的电阻测量来验证仪器的可靠性.本文对3个定值电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 进行测量,结果如表1所示.

表1 固体电阻测量表

电阻/ Ω	$R_1(508)$	$R_2(97\ 000)$	$R_3(815)$
次序			
1	518	98 876	822
2	519	98 984	820
3	518	98 961	819
4	519	98 980	820
5	519	98 973	820
平均值	518.6	98 954.8	820.2
相对误差/%	2	2	0.6
不确定度/ Ω	0.245	20.083	0.490

这3个电阻用万用表测得的结果分别为:508 Ω 、97 000 Ω 和 815 Ω ,该值与我们的装置测量值相比,差异分别为2%、2% 和 0.6%,考虑到万用表本身的精度,本文所制作的非平衡电桥装置在测量常规固体电阻时是可靠的.

表3 自来水煮沸前后电阻测量值

煮沸前自来水电阻/ Ω	不确定度/%	电导率/ ($\times 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$)	煮沸后自来水电阻/ Ω	不确定度/%	电导率/ ($\times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$)
354	0.63	3.70	9 418	0.20	1.39
353	0.70	3.70	9 289	0.18	1.37
353	0.69	3.70	9 205	0.16	1.364
340	0.75	3.56	9 273	0.22	1.37
345	0.80	3.62	9 159	0.19	1.35

5.2 加热时间长短不同的自来水的电阻

本文取某市某区的自来水分为6等份进行加热,根据不同的加热时间记录数据并得到图9.

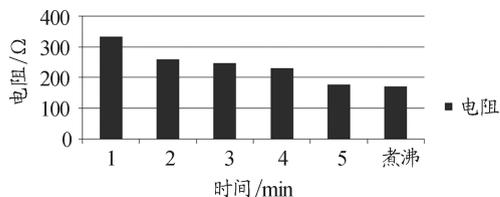


图9 加热时间长短不同的自来水的电阻柱状图

根据图9可以看出,加热至煮沸过程中,自来水的电阻值不断减小.

4.2 仪器电极的选择

本文选取了两种材料进行电极的制作,分别为铜电极和碳电极.之后进行了两种电极对蒸馏水电阻的测量.最终选择碳电极为非平衡电桥水质检测仪的电极.

4.3 仪器频率的选择

保持电极不变,用不同的电源频率去测量蒸馏水的电阻,结果如表2.

表2 不同频率下蒸馏水电阻表

电阻/ Ω	不确定度/%	频率/Hz
9 381	0.80	700
9 451	0.17	780
9 861	0.35	800
10 304	0.83	820
10 629	0.66	840
10 830	0.90	900

对比资料所述的蒸馏水的电阻,可得电源在700 ~ 900 Hz之间测量所得的结果较准确.

5 非平衡电桥水质检测仪的应用

5.1 自来水煮沸前后电阻测量(保持温度相同)

自来水煮沸前后电阻测量如表3所示.

6 结束语

此装置在原来实验的基础上可以测量液体的电阻,误差相对较小,同时本文还使用该装置测量加热不同时间水的电阻和电导率、某市各区域的水质量,发现与实际情况基本相符,也测量了超市部分饮料的电阻来进行趣味小实验,因篇幅问题只放置了两个应用实验,但本装置也存在着不足,对水质的测量维度比较单一,是笔者在不断改进的地方.

(下转第112页)

- 14 王春苑,欧阳金龙,任嘉友,等. 建筑物理实验教学反思和声学实验教改实践[J]. 实验技术与管理,2015,32(7): 186 ~ 190
- 15 邱玉婷,史成坤,齐海涛,等. 体验式科研训练课程的设计与实践[J]. 实验技术与管理,2021,38(4):250 ~ 253
- 16 翟洋. 建筑物理实验教学的优化研究[J]. 辽宁工业大学学报(社会科学版),2015,17(5):127 ~ 129
- 17 李耀武,田芳. 实验室平台建设与学生能力培养的双向探索试验——以昆明理工大学建筑学院实验室为例[J]. 城市建筑,2020,17(19):144 ~ 148
- 18 曲柳. 以绿色建筑理念为导向的建筑物理实验课程初探[J]. 山西建筑,2020,46(24):176 ~ 178

Research on Teaching Reform of Experiential Experiment Course of Architecture Physics

Chen Yuchuan

(College of Architecture and Urban Planning, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025)

Abstract: Combining the requirements of building physics experiment personnel training and the existing problems of traditional teaching, under the guidance of teaching and scientific research concepts, an experiential experimental teaching reform model aimed at cultivating students' professional quality and professional skills is proposed, and applied to the "City Village Building Thermal Environment Experiment". In the course teaching, cross-discipline and regional characteristic experiments are organically integrated into architectural physics experiments, combined with comprehensive experimental content in line with the development of the times, and diversified experimental methods are used to try to reform and explore. Practical results show that the experiential experimental teaching reform has promoted the modern development of the architecture major, and has played an active role in improving students' innovative thinking and practical ability.

Key words: architectural physics experiment; teaching reform; experiential teaching; thermal environment

(上接第 106 页)

参考文献

- 1 李林,徐泽红,吴新全. 应用非平衡电桥测量电阻实验的研究[J]. 数理系,2007(3):4
- 2 张丽琴,徐士涛. 惠斯通电桥原理及应用研究[J]. 物理与电子信息,2018(7):88 ~ 90
- 3 李应. 水溶液电导率测量系统的研究[D]. 北京:北京化工大学,2013
- 4 金倩倩. 在线水溶液电导率仪的研制[J]. 抚州:东华理工大学,2013

Simple Detector of Water Quality Based on Non-balanced Bridge Principle

Lu Lvfang

(School of Teacher Education, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210000)

Abstract: The Wheatstone Bridge is a classic experiment in College Physics Experiments that uses a balanced bridge to accurately measure resistance values. In college lab classes, it can only be used to measure the resistance of solids. In this paper, the principle of the bridge circuit is applied to create a device that can be used to accurately measure the resistance value of liquids, which can be used to evaluate the quality of the body of water being measured. Finally, the device was applied to a series of studies on different bodies of water and a series of meaningful results were obtained.

Key words: non-equilibrium bridge; water quality testing; TDS; physical experiment