

# 基于 Cygnal 技术在线碱度自动分析仪研究及应用

孙墨杰<sup>1</sup>, 王嘉浩<sup>1</sup>, 张庭<sup>1</sup>, 陈绍刚<sup>2</sup>, 王世杰<sup>1</sup>

(1. 东北电力大学化学工程学院, 吉林 吉林 132012; 2. 华能鹤岗发电有限公司, 黑龙江 鹤岗 154109)

**摘 要:** 循环冷却水在长期运行过程中由于蒸发、浓缩, 易在热力设备表面积盐、结垢, 而水中碱度大小能够反映循环冷却水水质工况。以电位滴定法为基础, C8051F020 单片机为核心研制的循环冷却水在线碱度自动分析仪, 通过连续运行实时监测循环冷却水的碱度, 测量结果误差小于 $\pm 3\%$ , 满足现场复杂的水质要求。

**关 键 词:** 碱度; 电位滴定; 在线; 自动分析; C8051F020

**中图分类号:** TP2

**文献标识码:** A

在电力生产过程中, 高温蒸汽的热交换过程均在循环冷却水系统中进行。而循环冷却水水质好坏直接影响热力设备的稳定运行和热交换效率<sup>[1~2]</sup>。碱度作为循环冷却水检测的重要指标之一, 直接关系到整个循环冷却水系统的正常运行, 水体中碱度过大往往会造成热力设备的腐蚀、结垢以及水体中微生物的繁殖<sup>[3]</sup>。通过测量循环冷却水中的碱度, 了解循环冷却水水质工况, 向水体中投加一定量的缓蚀阻垢剂, 防止形成碳酸盐硬度<sup>[4]</sup>。目前, 电厂循环冷却水碱度的测量一直采用手工分析方法, 该方法虽然成熟可靠, 但操纵过程繁琐, 无法对循环冷却水碱度进行实时在线监测<sup>[5]</sup>。

基于 Cygnal 芯片 C8051F020 研制的在线碱度自动分析仪, 能够完成水样的自动采集、测量和排废<sup>[6]</sup>, 实现了对循环冷却水的实时在线监测, 解决了工业循环冷却水不能及时分析水质碱度变化的问题。

## 1 测量原理

以电化学分析法作为碱度的测量方法, 即通过测量滴定过程中溶液的电位变化来确定滴定终点<sup>[7]</sup>。在进行电位滴定时, 被测溶液中的参比电极和测量电极组成测量电池。随着滴定剂的加入, 溶液会发生相应的化学反应, 溶液中的  $H^+$  浓度也会不断发生变化, 测量电极的电位也会发生相应的变化<sup>[8]</sup>。当电极电位出现突跃时, 通过测量电池电动势的变化, 来确定溶液的滴定终点。记录消耗硫酸标准溶液的总容积, 通过消耗酸液的体积来计算出水样的碱度。

## 2 化学分析测量系统

仪器化学分析测量系统由 C8051F020 单片机控制系统控制, 示意图如图 1 所示。水样经前置过滤

收稿日期: 2018-12-05

基金项目: 吉林省科技发展规划重点项目(20170204015SF)

第一作者: 孙墨杰(1967-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 电力系统化学监测及水处理工程师技术

通讯作者: 张庭(1982-), 男, 硕士, 实验师, 主要研究方向: 电厂化学仪器仪表

电子邮箱: smoj@neepu.edu.cn (孙墨杰); 394818993@qq.com (王嘉浩); 574359020@qq.com (张庭); csgjms@163.com (陈绍刚); 284589693@qq.com (王世杰)

器进入水样采样杯,多余水样经溢流管流出到排废槽。采样完成后,关闭水样采样阀,开启进样阀,待测量池中的虹吸管产生虹吸,关闭进样阀,进行测量池的清洗(共清洗三次),清洗完成后,打开进样阀进行第四次进样并产生虹吸,待虹吸完成后,关闭进样阀,此次的水样用于测量。测量时开启精密加药蠕动泵,通过控制蠕动泵的时间和转动角度进行精确加药。开始时,加药方式为连续加药,单片机控制系统通过连续采集测量池内 pH 电极电位和温度传感器的温度信号计算被测水样 pH 值,当 pH 降低至 5.5 时,则采用间歇方式加药,且加药量随 pH 的降低逐渐减少,直至到达滴定终点,即 pH 为 4.5。单片机控制系统根据加药计量装置的加药量和被测水样体积计算水样的碱度并显示。然后打开排废阀排废,完成一次测量,整个测量过程约 15 min。如此循环,实现水样碱度的在线连续监测。

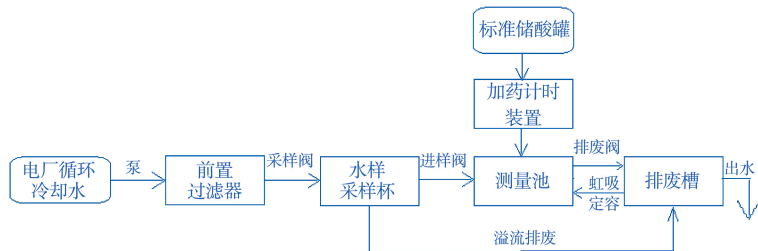


图 1 化学分析测量系统

### 3 碱度测量控制系统

仪器采用 C8051F020 混合信号处理器对仪器所有的电气信号进行处理,是分析仪的核心<sup>[9]</sup>。JTAG 调试电路用于处理器程序写入和调试,8 路 I/O 电路实现化学流路电磁阀控制、液位和温度的检测、仪器报警信号的输出等功能,蠕动泵控制电路采用频率信号控制蠕动泵加药量和加药速度,pH 信号转换电路通过阻抗变换和 A/D 转换将 pH 电极电位转换为数字信号处理,历史数据采用 AT45DB161D 串行 Flash 存储器读写,可提供 1 个月碱度数据存储,串口转 USB 电路用于与上位机通信,4 mA-20 mA 模拟信号转换电路将在线碱度分析仪数据转换为可信号远传的 4 mA-20 mA 标准模拟信号供现场 DCS 系统数据采集,显示界面采用智能触屏液晶串口屏,采用串行输出方式与处理器完全兼容。

#### 3.1 pH 电极信号的采集和转换

由于工业在线 pH 电极内阻可达 109  $\Omega$ ,普通放大器不能满足电极电位信号的采集,而 LMC6082 双路运算放大器输入阻抗大于 1 012  $\Omega$ ,满足 pH 信号阻抗变换的要求,电极电位经 LMC6082 阻抗变换后,通过 INA114 差分放大器对电极电位反向放大和信号叠加,使 pH 值在 0 ~ 14 范围内对应的转换后的电压信号在 0.000 V ~ 4.096 V 范围内,INA114 差分放大器的叠加信号由 VREF 端提供。LM358 双运放放大器,在电路中作为一个跟随器增强驱动能力。放大后的电压信号经模数转换,供单片机进行处理。模数转换芯片采用的是 MAX187,该芯片采用的是单总线串行输入方式,分辨率为 12 位,电路设计时将芯片 SHDN 管脚接高电平,使用内部参考电压 4.096 V,分辨率完全符合精度要求。电极信号转换电路,如图 2 所示。

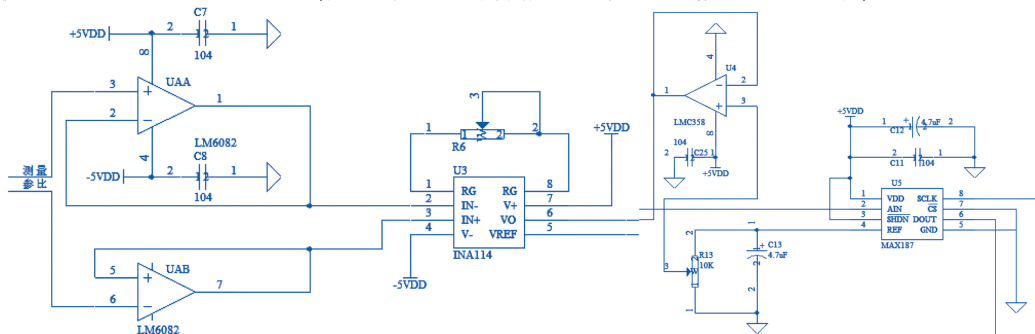


图 2 pH 电极信号转换电路

3.2 软件系统

仪器的软件设计包括仪器的基本功能和碱度测量两部分. 基本功能又包括显示键盘、存储功能、报警功能、信号输出和系统设置<sup>[10]</sup>; 测量功能则包括基本参数的设置、控制阀门的调试、碱度的测量、加酸量的控制以及电极的标定和历史数据的查询. 主控程序首先对内部寄存器进行初始化, 同时对外围器件进行初始化. 主控程序的初始化包括: 将系统的内部时钟转换至外部时钟、将堆栈指针进行复位、I/O 口初始化、定时器初始化、串口 UART0 初始化以及 LM2068R 液晶显示器初始化. 图 3 为仪器主程序流程图.

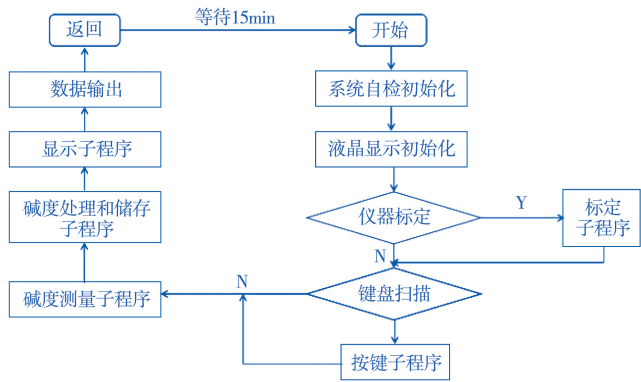


图 3 主程序流程

4 实验结果与分析

通过配制不同碱度标准溶液对仪器重现性和稳定性进行检验. 我国工业循环冷却水碱度控制指标一般为 1 mmol/L ~ 10 mmol/L 之间, 采用经加热干燥后的基准无水碳酸钠配制溶液浓度分别为 0.001 mol/L、0.002 mol/L、0.003 mol/L、0.004 mol/L、0.005 mol/L, 对应标准溶液碱度分别为 2 mmol/L、4 mmol/L、6 mmol/L、8 mmol/L、10 mmol/L. 对仪器的重现性和准确性进行试验.

实验时, 在线分析仪连续运行, 每 30 min 测量一次, 每种标准碱度溶液在仪器上连续运行 10 天, 每天取 9:00 ~ 10:00 之间的碱度值, 实验结果如图 4 所示, 仪器在整个试验运行过程中保持较高的稳定性, 测量误差主要来源于电极电位终点的判断和加药量的计量精度, 最大误差±3% 以内.

在相同的条件下, 以工业循环冷却水总碱度及酚酞碱度《GB15451-2006》的测定为标准, 配置氢离子浓度为 0.050 mol/L 的硫酸标准溶液. 分别采用手工分析法、电位滴定法以及在线碱度仪器测量典型水样(自来水、地表水、循环冷却水)的总碱度.

水样来自于实验室自来水, 如图 5 所示. 运行时间为 2017 年 9 月, 每天早上 9:30 进行数据记录以及做对比实验.

水样取自地表水, 如图 6 所示. 运行时间为 2017 年 10 月, 每天早上 9:30 进行数据记录及做对比实验.

水样取自发电厂循环冷却水, 如图 7 所示. 运行时间为 2017 年 11 月, 每天早上 9:30 进行数据记录及做对比实验.

通过对图 5、图 6 和图 7 测量结果对比: 手动分析时, 由于终点颜色变化需人眼判断, 测量结果数据

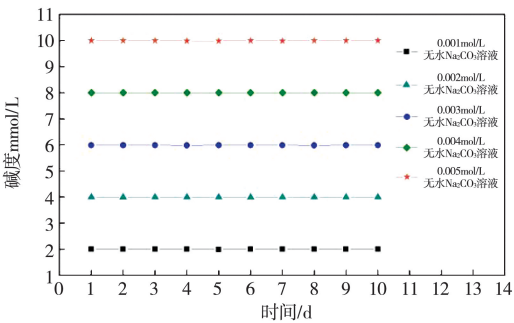


图 4 仪器准确性试验结果

波动性较大,最大误差(自来水:3.5%、地表水:2.5%、循环冷却水:1.6%);电位滴定仪到达测量终点后,由于滴定管中耗酸量是人工进行读数,其次加酸量方式采用的是液滴数,最大误差(自来水:2.6%、地表水:1.8%、循环冷却水:1.3%);在线碱度仪加酸过程是由单片机系统控制精密加药计量系统进行,耗酸量的读取也是由单片机系统进行控制,最大误差(自来水:1.2%、地表水:0.6%、循环冷却水:0.4%)。虽然测量误差均满足现场循环冷却水要求,但与手工测量和电位滴定结果进行对比,基于 C8051F020 单片机研制的循环冷却水碱度测量装置数据结果稳定性和测量误差均优于手工测量和电位滴定法,且在整个运行过程中无人工参与,很大程度上减少了循环冷却水碱度繁琐的测量过程。

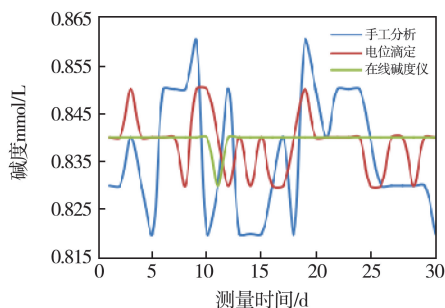


图5 自来水碱度

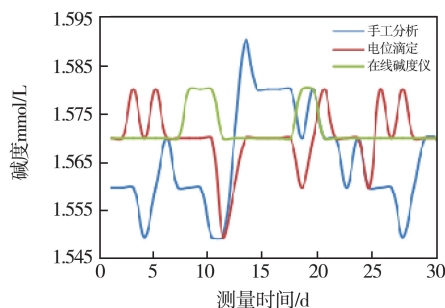


图6 地表水碱度

## 5 结 论

以电位滴定法为基础设计的在线碱度分析仪,采用 C8051F020 单片机为核心,实现了工业循环冷却水在无人干预情况下的自动采样分析.通过配制不同碱度标准溶液对在线分析仪连续运行测试,仪器具有较高的重现性和稳定性,测量误差小于 $\pm 3\%$ .分别对自来水、地表水和循环冷却水进行测量,并通过与手工分析和电位滴定仪的测量结果进行对比,基于 C8051F020 单片机研制的在线碱度自动分析仪的测量误差和重现性均优于前两者.仪器可进行工业现场试验,同时也能够为现场循环冷却水水质工况提供数据依据。

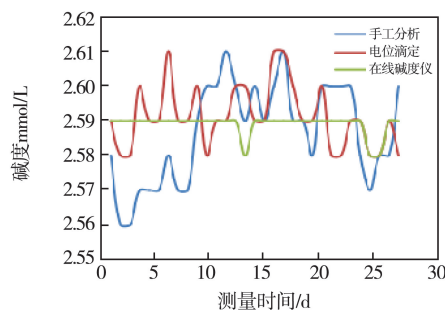


图7 循环冷却水碱度

## 参 考 文 献

- [1] M. J. Sun, M. Cheng, X. Q. Wang, et al. Study on monitoring water quality stability of cycle cooling water by stability index in power plant [A]. Proceedings of the 2011 International Conference on Informatics, Cybernetics, and Computer Engineering [C]. Melbourne, Australia. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 755-762.
- [2] 孙墨杰, 王世杰. 基于 ZnO/石墨烯复合材料的有机磷电化学生物传感器研究[J]. 东北电力大学学报, 2016, 36(5): 57-62.
- [3] 王振忠. 化工企业循环冷却水的水质处理[J]. 华东科技: 学术版, 2014(5): 490-490.
- [4] 张强, 郑敏聪. 电厂循环冷却水阻垢缓蚀剂筛选及评价研究[J]. 安徽电力, 2007(3): 16-18.
- [5] 王东兵, 刘晓娜, 张海燕, 等. 论工业循环冷却水碱度的测定方法[J]. 轻工科技, 2011, 27(3): 26-27.
- [6] 张志国, 兰梦. 火电厂循环冷却水全自动化处理方案[J]. 华电技术, 2016, 38(2): 63-64.
- [7] 李萍, 田红姐, 张竞. 滴定分析中滴定终点误差问题探讨[J]. 石化技术, 2017, 24(9): 249-249.
- [8] 李心爱. 利用平衡移动原理判断浓度对电极电势的影响[J]. 化学教育, 2017, 38(10): 20-21.
- [9] 孙墨杰, 李昭, 张莉蕾, 等. 基于 Cygnal 技术循环水安定指数在线监测装置的研究与应用[J]. 化工自动化及仪表, 2015(6): 652-655.
- [10] 游子跃, 于新艺, 王聪香, 等. 基于双 MCU 的自动农药喷洒系统[J]. 东北电力大学学报, 2015, 35(4): 79-83.

## Research and Application of Online Alkalinity Automatic Analyzer Based on Cygnal Technology

Sun Mojie<sup>1</sup>, Wang Jiahao<sup>1</sup>, Zhang Ting<sup>1</sup>, Chen Shaogang<sup>2</sup>, Wang Shijie<sup>1</sup>

(1. School of Chemical Engineering, Northeast Electric Power University, Jilin Jilin 132012; 2. Huaneng Hegang Power Generation Company Limited, Hegang Heilongjiang 154109)

**Abstract:** Because of evaporation and concentration, Recirculation cooling water is easy to deposit salt and scale on the surface of thermal equipment during long-term flow. And the alkalinity of water can indicate the water quality of recirculation cooling water. To meets the field requirements, based on the potentiometric titration and C8051F020 MCU, Recirculation cooling water online alkalinity automatic analyzer was developed, which can monitor the alkalinity of recirculation cooling water in real time, and the measurement error is less than  $\pm 3\%$ .

**Key words:** Alkalinity; Potentiometric titration; Online; Automatic analysis; C8051F020