

# 基于物联网的水质在线自动监测系统研究与实现

李随群<sup>1a</sup>, 蔡郡倬<sup>2</sup>, 高祥<sup>1b</sup>, 卢令<sup>1c</sup>

(1. 四川理工学院 a. 计算机学院; b. 机械工程学院; c. 分析测试中心, 四川 自贡 643000;

2. 同济大学化学科学与工程学院, 上海 200092)

**摘要:**针对江河流域氨氮等水质参数含量超标,传统水质检测方法存在预处理过程复杂、检测设备体积庞大、检测周期长、不能实现连续自动检测等问题,提出采用纳氏试剂分光光度法检测水质参数,并结合西门子 PLC、组态软件(MCGS)、4G 移动通信等技术,设计出基于物联网的水质在线监测系统。介绍了系统基于 C/S 模式的总体架构设计,并基于一个感知节点详细阐述了由 PLC、MCGS、蠕动泵、分光光度计等组成的检测系统硬件结构设计,并对水质检测软件功能进行了分析,分别对检测系统、PLC 控制程序和 4G 通信程序进行了测试。系统测试结果表明,该系统自动化程度高、检测周期短、能够实现 0 mg/L ~ 300 mg/L 范围的样品进行检测,具有实际应用价值。

**关键词:**水质自动监测系统;检测装置;控制策略;组态软件;4G 通信技术

**中图分类号:**TP391

**文献标志码:**A

## 引言

随着自动化技术、计算机应用技术的不断更新以及智慧地球概念的不断深入,人们对水环境保护的关注度也不断提高。在我国,水质监测方法已从传统的定时定点采样、实验室离线分析发展到了水质在线监测<sup>[1]</sup>。实验室离线分析测量周期长、操作复杂、实验要求严格,且不能满足实时监测的需求。设计出小型化、自动化的水质在线自动监测仪器已成为水质监测仪器发展的趋势<sup>[2-3]</sup>。目前水质参数检测的方法多采用分光光度法和电极法,分光光度法多采用注射器取样配比,需要反复清洗等,操作复杂;电极法虽然测试灵敏,但电极对检测

样品质量参数要求高,且电极较脆弱,需定期维护。针对此种情况,本文采用分光光度法,并基于蠕动泵和多通电磁阀抽取样品和配比溶液,蠕动泵由步进电机控制,易于控制抽取样品和配比溶液的剂量,并结合多通电磁阀优化了反复清洗管道的检测步骤,缩短了检测的周期,同时避免了溶液残留造成的检测干扰。针对文献[4-6]分析的水质检测的方法及应用的场所,本文基于 PLC 和 MCGS 技术设计了针对江河流域的水质自动检测系统。

## 1 水质检测的原理及方法

水质检测方法主要可分为分光光度法和电极法,其中纳氏试剂和水杨酸分光光度法都属于分光光度法<sup>[7-8]</sup>。分

收稿日期:2018-03-28

基金项目:人工智能四川省重点实验室项目(2015RYY02);企业信息化与物联网测控技术四川省高校重点实验室开放基金项目(2017WYY02;2016WYY03;2016WYJ02);泸州老窖科研奖学金项目(15ljk04)

作者简介:李随群(1987-),男,河南泌阳人,助理实验师,硕士,主要从事嵌入式、物联网技术与应用等方面的研究,(E-mail)suiqun17@163.com

通信作者:卢令(1986-),男,江苏连云港人,助教,硕士,主要从事物联网技术与智能系统方面的研究,(E-mail)luling346@163.com

光光度法是根据测定被测物质在一定波长范围或特定波长处对光的吸收度,进而对该物质进行定性和定量分析的方法<sup>[9-10]</sup>。文献[11-12]对几种检测方法进行了分析,综合比较得知纳氏试剂法比水杨酸分光光度法更具有易操作、稳定性高、连续性强、耗材试剂不易变质、对测量环境适应性强等优点。氨气敏电极法对检测样品的 pH 要求较高,电极比较脆弱、寿命较短,需定期更换,且电极法对测试环境要求高,否则会影响测试精度。

综上所述,本文采用纳氏试剂比色法测氨氮的含量,根据朗伯比尔定律,反应后的生产物对一定波长的光波吸收量成比例关系,依据水样的吸光度计算水质的参数<sup>[13]</sup>。

$$C = k \times A + b \quad (1)$$

式中:  $C$  为水样的浓度;  $k$  为标准曲线的斜率;  $b$  为标准曲线的截距;  $A$  为吸光度。

## 2 水质监测系统设计

### 2.1 系统架构设计

水质监测系统采用 C/S 模式,整体架构如图 1 所示。客户端主要由检测装置、控制器等构成,负责采集水质的数据信息,并通过有线网络和 4G 网络传输给服务端<sup>[14]</sup>;远程监控中心实现服务端的功能,服务端负责接收客户端采集的数据信息,并发送系统任务命令实现对客户端的控制。本文针对单个检测点进行介绍分析,实际应用中根据河流具体特征及支流入水口的位置合理设置多个检测节点。

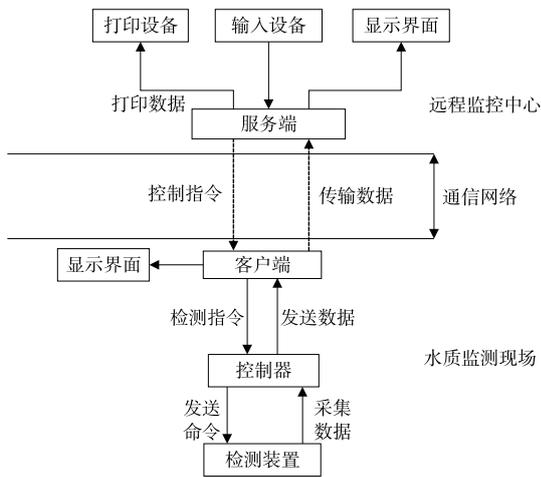


图 1 监测系统的 C/S 结构

### 2.2 水质监测系统拓扑结构设计

基于物联网的水质监测系统总体拓扑结构如图 2 所示,由感知层、网络层、应用层三部分构成。感知层是系统设计的重点,由控制模块、蠕动泵、多通电磁阀、流量计、检测装置等构成。蠕动泵的作用是配合水质检测装置抽取检测样品和检测试剂,以及排出检测后的废液。蠕动泵抽取和排出液体的运动由步进电机控制,步进电机运动精度会影响抽取样品及试剂的量,从而直接影响测试结果,所以,本系统选取制作工艺精密的美国 Cole - Parmer 仪器公司生产的 Master Flex L/S 系列的蠕动泵。网络层由 WiFi 和 4G 网络 DTU 传输模块构成<sup>[15-17]</sup>,该部分使用移动通信网络连接。应用层由数据中心、远程监控中心构成,该部分采用 Internet 网络实现互联。

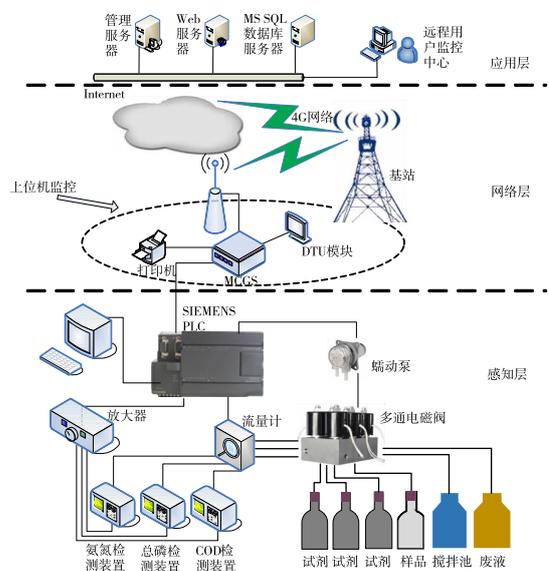


图 2 系统拓扑结构图

## 3 系统硬件设计

水质在线自动监测系统硬件设计部分主要有控制器模块、水质检测模块、水质监控显示模块、远程数据传输模块、通信接口模块、电源模块等。

### 3.1 水质自动检测装置设计

水质自动检测装置是监测系统的一个重要组成部分,其结构如图 3 所示。系统采用西门子 PLC 作为水质自动检测的主控制单元,主要通过控制电磁阀的动作来完成检测液体的预处理、调配等,采用流

量计来测量检测液体的总量,利用分光光度计来检测水质参数。检测装置首先将分光光度计检测的水质参数的数据传输到监测控制单元,再通过4G-DTU模块将数据信息传输到远程终端,登录终端监控软件可查询监测信息,人机交互界面MCGS可对监测到的数据进行显示和分析处理。

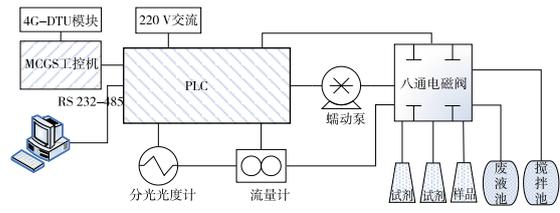


图3 水质检测装置结构图

### 3.2 稳压电源模块设计

5 V 稳压电源为光电比色装置提供  $\pm 5$  V 电压,保证

了检测装置的正常工作。5 V 稳压电源电路工作原理图如图4所示。

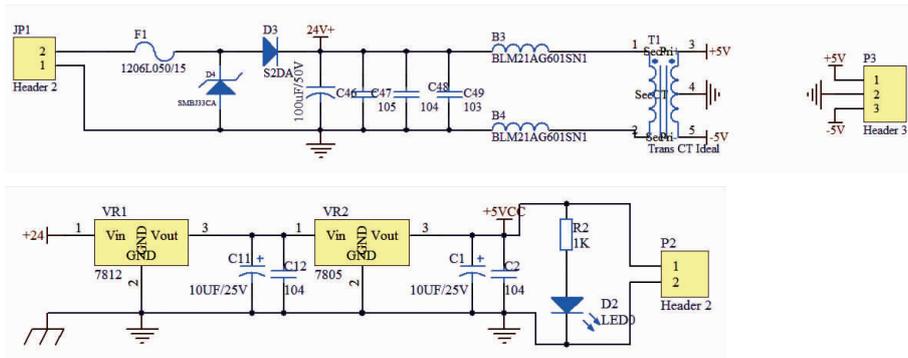


图4 5 V 稳压电路图

### 3.3 光电液位检测装置

光电液位检测装置对检测到的液位信息进行处理,计算出每次测量抽取或排出试剂的量。光电液位检测

控制板采用24 V DC 供电,通过串口和PLC通信,将检测到的数据信息传输给PLC,实现检测的智能控制。光电液位检测板电路原理图如图5所示。

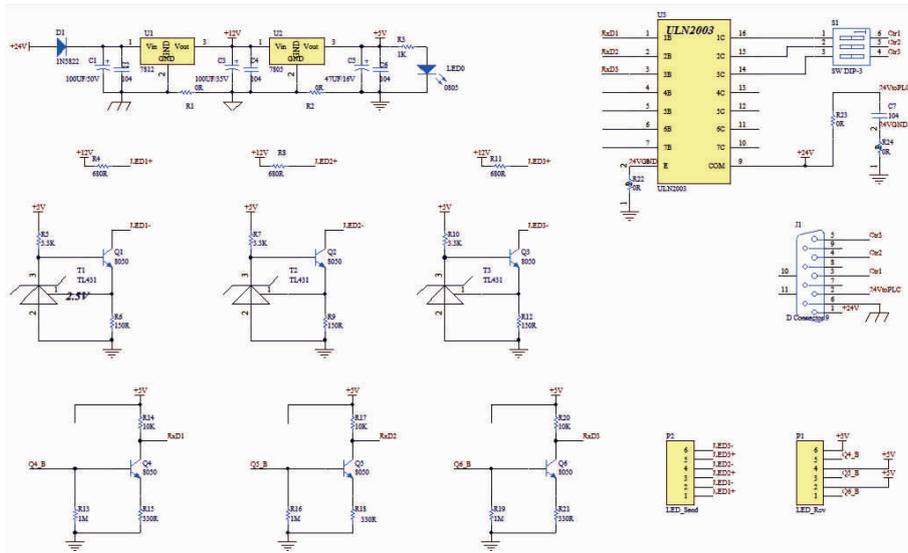


图5 光电液位检测电路图

## 4 系统软件设计

### 4.1 检测装置功能设计

系统检测流程如图6所示。检测装置工作流程为:(1)

系统上电;(2)系统初始化,判断初始化是否完成;(3)选择自动或手动检测方式。自动检测方式需要设定定时器参数,才能执行自动监测,手动方式则通过单点测试的方式进行检测;(4)将检测的数据传输并显示;(5)检测结束。

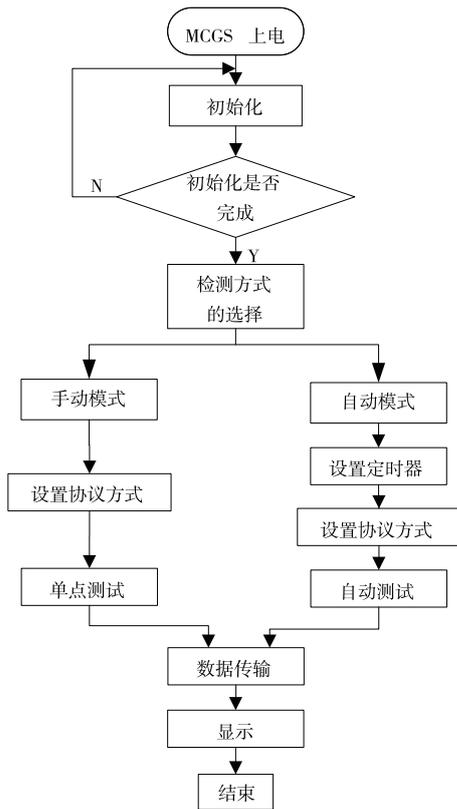


图6 检测流程图

### 4.2 感知层功能设计

控制器 PLC 是完成检测装置的控制工作,并不涉及控制逻辑,但要负责产生控制时序。PLC 程序的控制是根据内部的 M 寄存器来进行的,而 M 寄存器是由上位机监控触摸屏 MCGS 来控制的。MCGS 通过 S7-200 的驱动程序直接通过串口来控制 PLC 中的 M 寄存器,其策略类似于子程序。启动策略在启动时执行一次;循环策略反复定时执行,可根据一些条件决定是否执行,可以有多个,相当于有多个定时器事件代码;其他策略由菜单或按钮执行。

启动策略中,从设置文件中读取 PLCVB10 及 PLC M01,将 PLC M00 设为 1、PLC T40 设为 0。在循环策略的通讯状态中,根据 PLC COM 口状态判断是否通讯。在循环策略的系统初始化中,根据定时器的值,设置各变量初值,并显示初始化进程信息。PLC 软件控制流程图如图 7 所示。

### 4.3 MCGS 软件控制系统策略设计

主显示窗口相关的策略有“发控指令”、“按设定时间自动测试”、“主显示窗口循环复位”等循环策略。

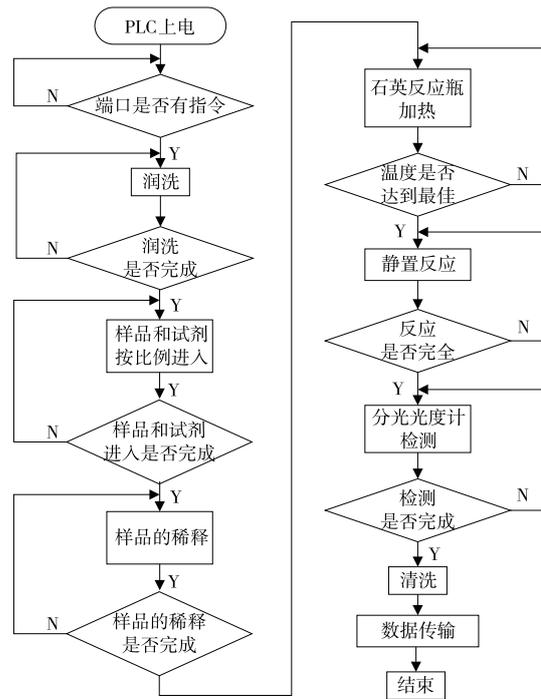


图7 PLC 控制流程图

(1) 发控指令是无条件运行,包括如下 3 个子程序:①远程时间测量。如果允许 Dest\_contrl\_int,并且在在线测试窗口没有打开,则 PLCM202 = 1,打开在线测试窗口。②远程时间校准。③远程时间读取

(2) 按设定时间自动测试。当表达式“系统初始化保护”=0 时执行,这个表达式在主循环策略中根据 T41 定时器的值来决定是否处于系统初始化过程中来设置。其主体是测试各定时变量如 H00、H01 等与当前时间比较,如果时间到,并且 PLC M202 = 0,即没有开始测试,如果 PLC M202 = 1,则打开在线测试窗口。

(3) 主显示窗口循环复位。当主显示窗口打开后执行,初始时 PLC M202 = 1 且 KM = 1,打开在线测试窗口,再使 KM = 0。MCGS 监控界面如图 8 所示。



图8 MCGS 主显示窗口

### 4.4 4G - DTU 通信设计

4G 点对点通信是实现监测中心与远程监控中心数据信息交互的渠道,如图 9 所示。4G - DTU 上电后自启动,首先对本身的一些参数进行初始化,包括服务端的 IP 地址、端口号、SIM 卡等相关参数,然后与服务器进行主动握手,握手的方式是通过发送 AT 指令进行<sup>[18]</sup>:首先,DTU 会发送指令等待服务器响应,服务器响应之后,会发送指令返回给 DTU,随后 DTU 模块会把将要建立连接的 IP 地址、端口号与服务端进行匹配认可,完成后就可以与服务端建立握手连接,这样数据信息就可以通过 4G 网络进行点对点的网络通信<sup>[18-19]</sup>。

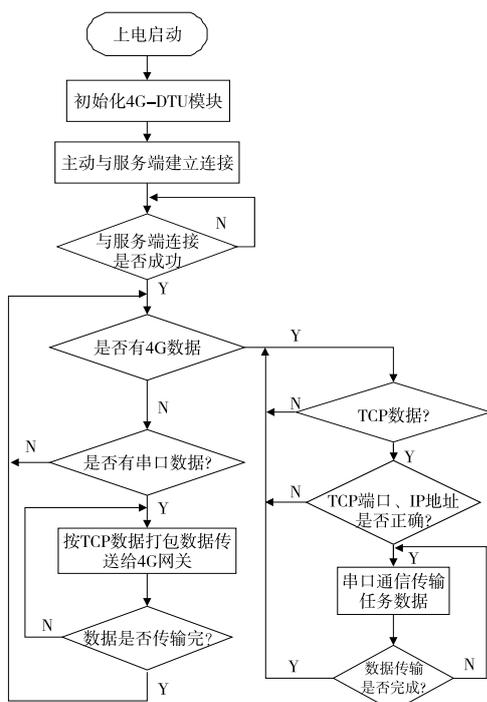


图 9 4G - DTU 通信流程图

## 5 系统的实现

目前市场上小型快速检测装置溶液预处理时间在 2 ~ 3 小时,而且对试剂配比的操作流程要求非常严格,否则对检测结果影响很大。本文设计的水质自动监测系统可对过滤后的样品直接检测,该系统能自动完成溶液、检测试剂的调配和消解等预处理工作。该检测装置自动完成试剂的调配,稳定性高,预处理时间短,单次测量周期小于 30 分钟。本文主要对氨氮参数进行测试,系统监测流程为:首先通过水质检测装置采集数据信息,采用 MCGS 工控机对数据信息进行显示和存储,其次将

采集到的水质信息通过 4G 网络发送到监控中心,用户在远程监控端通过上位机软件可查询相关水质信息<sup>[19]</sup>。

### 5.1 检测步骤

根据生成物含量与光波吸收量的关系,分两个步骤对监测仪进行操作:

#### (1) 检测装置的标定

使用零点和标准量程校正液两点法进行标定。依据监测的数据,检测仪将自动求解出标准曲线的斜率、截距和校正参数,并将测量的数据保存,以备实际测定时使用。检测仪标定按量程分别进行标定,包括空白标定和不同浓度标准溶液的标定。

#### (2) 水样参数浓度的测定

检测仪根据水样中测量参数的含量自动调整量程,单次测量时间会随着水样中氨氮浓度的升高而延长,检测仪可实现对 0 mg/L ~ 300 mg/L 等不同量程的样品进行测定。目前市场上快速检测仪检测范围多为 0 mg/L ~ 10 mg/L、0 mg/L ~ 20 mg/L、0 mg/L ~ 50 mg/L,显然本文设计的系统具有更宽的监测范围。检测仪依据水样的吸光度和朗伯比尔定律,自动计算出水样参数的浓度。

### 5.2 检测数据上位机显示

检测到的水质数据信息首先显示在现场监控界面上,同时数据信息通过 4G - DTU 模块被传输到监控中心,监控中心通过上位机监控软件可同步显示监测到的水质数据信息。上位机监控界面如图 10 所示,上位机监控可实时记录监测到的水质数据信息及监测系统的工作状态。对于同一批次的水质样品进行测试,对比某专业水质检测科技公司产品的测试结果,如图 11 所示,本文系统检测的参数值具有可靠的检测精度,实现了系统设计测量参数的误差在 ±10% 的目标。

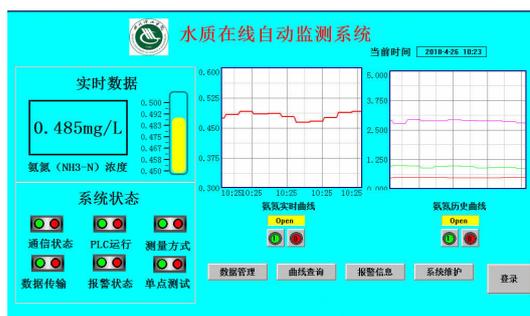


图 10 上位机监控界面

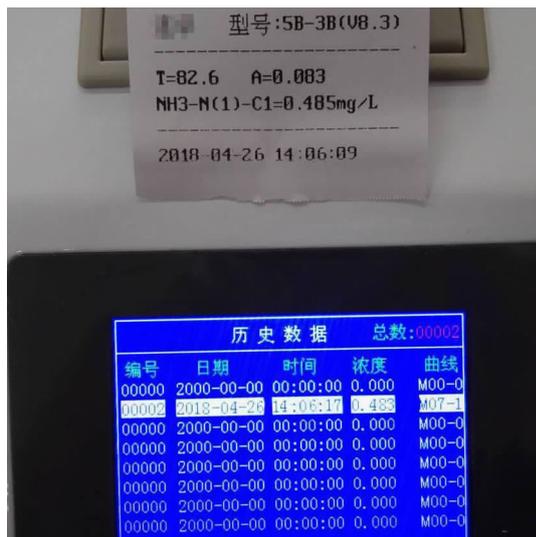


图 11 对比测试结果

## 6 结束语

水质自动监测系统采用模块化设计,主要分为控制器模块、检测模块、显示模块、远程监控模块,简化了硬件电路的设计,系统方便维护与升级,提高了系统的稳定性。结构设计新颖、便携,用蠕动泵替换市场上用注射器对样品和试剂的抽取,确保了检测装置的精度完美。

智能化监测模式可根据水样实际情况自动切换量程,能快速地检测出水质参数,系统采用移动 4G 通信技术实现对江河流域各个入水口检测点的远程监控,系统扩展后可对地表水体中总磷、COD 等水质参数进行测量,该设计方式对江河流域水质监测实现网络化监测具有较好的应用价值。

## 参考文献:

- [1] 李荣芬.我国水质在线监测系统的发展与展望[J].河北企业,2014(5):127-128.
- [2] 莫莉,陈丽华.地表水水质监测指标体系现状综述[J].南昌工程学院学报,2014,33(4):71-73.
- [3] 肖秋香.地表水水质监测现状及对策分析[J].农村经济与科技,2016,27(8):5-6.
- [4] 陈汉银.几种氨氮检测方法比较[J].环境与发展,2017,29(3):183,185.
- [5] 张伟,戴建坤,许春莲,等.基于 PLC 的在线水质监测系统[J].化工自动化及仪表,2014,41(5):501-505.
- [6] 赵小强,陈升伟,张朋波.基于物联网的水质在线监测系统设计与实现[J].计算机测量与控制,2015,23(11):3627-3630.
- [7] HJ535-2009.水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法[S].
- [8] HJ536-2009.水质氨氮的测定水杨酸分光光度法[S].
- [9] LIANG Y, YAN C, GUO Q, et al. Spectrophotometric determination of ammonia nitrogen in water by flow injection analysis based on  $\text{NH}_3$ -o-phthalaldehyde- $\text{Na}_2\text{SO}_3$  reaction [J]. Analytical Chemistry Research, 2016,10:1-8.
- [10] EGAWA M, SUGAHARA S, SEIKE Y. Spectrophotometric determination of nitrite nitrogen in the presence of residual chlorine[J]. Bunseki Kagaku, 2016,65(10):593-598.
- [11] 李国庆.几种氨氮水质在线自动监测仪比较[J].中国环保产业,2012(2):33-35.
- [12] 罗澍,严少红,黄远峰,等.四种氨氮自动监测仪与实验室国标方法测定氨氮的比较分析[J].中国环境监测,2010,26(3):32-36.
- [13] 吕杨华.基于分光光度法的多参数在线水质监测仪的研究与设计[D].杭州:浙江大学,2012.
- [14] GLABOWSKI M, GACANIN H, MOSCHOLIOS I, et al. Design, dimensioning, and optimization of 4G/5G Wireless Communication Networks[J]. Mobile Information Systems, 2017,2017:1-2.
- [15] 路荣坤,陈忠孝,秦刚,等.基于 4G-DTU 水质监测系统的设计[J].机械与电子,2018,36(1):58-61.
- [16] 李明河,郭建忠,王健.基于 GPRS 的村镇污水处理远程监控系统设计[J].控制工程,2017,24(4):799-803.
- [17] 刘佳滢,张建义,袁嫣红.基于 GPRS 的农村污水处理远程监测系统[J].机电工程,2017,34(4):421-424.

- [18] 胡圣尧,杨子立,关静,等.基于 GPRS 或 4G 的通信基站电源监控系统设计[J].电源技术,2016,40(9): 1865-1866.
- [19] 张有鹏,李霞.基于 4G 移动通信系统的车联网关键技术研究[J].现代电子技术,2015,38(23):127-129.

## Research and Implementation of Online Water Quality Automatic Monitoring System Based on Internet of Things

*LI Suiqun<sup>1a</sup>, CAI Junzhuo<sup>2</sup>, GAO Xiang<sup>1b</sup>, LU Ling<sup>1c</sup>*

(1a. School of Computer Science; 1b. School of Mechanical Engineering; 1c. Analysis and Testing Center, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China; 2. School of Chemical Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In view of water quality parameters such as ammonia nitrogen in river basin exceeded, traditional methods of water quality monitoring have problems such as complex pretreatment process, large monitoring equipment, long detection period, and failure to achieve continuous automatic detection, an online water quality monitoring system based on the internet of things is designed using Nessler's reagent spectrophotometric as parameter detection method, which combined with Siemens PLC, configuration software, 4 G mobile communication and other technologies. The overall architecture based on the C/S model is introduced, for a sensing node, the hardware structure of PLC, MCGS, peristaltic pump and spectrophotometer is described in detail. The function of water quality testing software is analyzed; the testing system, PLC control program and 4G communication program are tested. The final testing results show that the system has a high degree of automation, short detection period, and can be used to detect samples in the range of 0 mg/L ~ 300 mg/L, which has great value on practical application.

**Key words:** automatic water quality monitoring system; detection device; control strategy; configuration software; 4 G communication technology