

基于 NB-IoT 的地下管网数据采集仪设计

程智^{1,3}, 熊远生^{2†}, 高金凤¹

(1. 浙江理工大学 信息科学与工程学院, 浙江 杭州 310018; 2. 嘉兴南湖学院 机电工程学院, 浙江 嘉兴 314001;
3. 嘉兴学院 信息科学与工程学院, 浙江 嘉兴 314001)

摘 要: 针对地下管网的水质数据采集困难、监测方式落后等问题, 设计了一种基于 NB-IoT 的数据采集仪。数据采集仪选用 STM32L151RET6 低功耗芯片和 NB-IoT 通信模块, 利用 MOS 管控制外设电源的通断。在软件设计中微控制器采用定时休眠和中断唤醒的工作模式降低运行功耗。实验结果表明: 数据采集仪运行稳定, 数据传输符合 HJ212-2017 协议, 在工作状态、接收状态和休眠状态时的平均工作电流分别为 94 mA、9 mA 和 300 μ A, 一次充电使用时间约为 134 日, 可应用于工厂排污管道和城市地下管网的实时监测。

关键词: NB-IoT; 地下管网; 数据采集仪; 低功耗; HJ212-2017 协议; 水质监测
中图分类号: TP274 **文献标识码:** A

Design of Underground Pipe Network Data Acquisition Instrument Based on NB-IoT

CHENG Zhi^{1,3}, XIONG Yuansheng^{2†}, GAO Jinfeng¹

(1. School of Information Science and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;
2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Jiaxing Nanhu University, Jiaxing, Zhejiang 314001, China;
3. College of Information Science and Engineering, Jiaxing University, Jiaxing, Zhejiang 314001, China)

Abstract: Aiming at the difficulties in water quality data collection and outdated monitoring methods of the underground pipe network, a data acquisition instrument based on NB-IoT is designed. The data acquisition instrument uses STM32L151RET6 low-power chip and NB-IoT communication module, uses MOS tube to control the on and off of peripheral power supply. In software design, the microcontroller uses timed sleep and interrupt wake-up modes of operation to reduce operating power consumption. The experimental results show that the data acquisition instrument runs stably, and the data transmission conforms to the HJ212-2017 protocol. The average working current in the working state, receiving state and dormant state are 94 mA, 9 mA and 300 μ A respectively. And the use time of one charge is about 134 days. It can be applied to real-time monitoring of factory sewage pipes and urban underground pipe networks.

Key words: NB-IoT; underground pipe network; data acquisition instrument; low power consumption; HJ212-2017 protocol; water quality monitoring

随着科技的发展, 我国工业规模不断扩大, 一方面工业生产提高了人类的生活水平, 另一方面也

造成了大量的环境污染。水是人类赖以生存的重要资源, 保护水资源不受工业生产的污染是一个必

须解决的问题。

人工检测的方式需要工作人员携带便携式的检测设备去往指定地点进行检测,此方式费时费力、数据采集的实时性不高。传统的水质监测方式采用 GPRS、4G 等网络技术将现场设备采集的水质数据传输至远程监控中心^[1,2]。随着物联网的兴起,越来越多的研究人员将物联网技术应用于水质监测的研究。周皓东等^[3]设计了一种基于 WiFi 无线传感网的水质监测系统,包启明等^[4-6]分别设计了以 Zigbee 技术和传统的 3G、4G、GPRS 等网络技术组合而成的水质监测无线传感网,均取得了一定的成效。然而上述研究中的 Zigbee 技术仅适用于短距离通信,GPRS 技术、3G 技术和 4G 技术存在功耗大、信号传输不稳定等不足,不适合应用于地下管网的水质监测中。近年来,以 NB-IoT 技术为代表的低功耗广域网技术迅速崛起,NB-IoT 技术具有广覆盖、低功耗和低成本等优点^[7],该技术广泛应用于环境监测、光伏监测、智慧农业等领域^[8-10]。葛金鑫等^[11]采用 NB-IoT 技术设计了一

种窖井数据采集系统,利用 CoAP 协议将传感器采集的数据传输至电信云平台。

基于此,本文提出了一种基于 NB-IoT 的地下管网数据采集仪,采集仪使用电池供电,软硬件均采用低功耗设计,微控制器通过 Modbus 协议读取传感器数据,随后将获取的数据转换为符合 HJ212-2017 协议的格式^[12]。最后利用 NB-IoT 技术将数据传送至云平台或监控中心,实现远程监控的目标。

1 总体设计

采集仪的总体设计结构如图 1 所示。选用由意法半导体生产的 STM32L151RET6 低功耗微控制器,下行通信采用 Modbus 协议,可搭配多种传感器。微控制器实现 Modbus 协议和 HJ212-2017 协议的转换,并将转换后的数据利用 NB-IoT 技术上传至监控中心,环保部门通过监控中心实现数据的显示与分析。

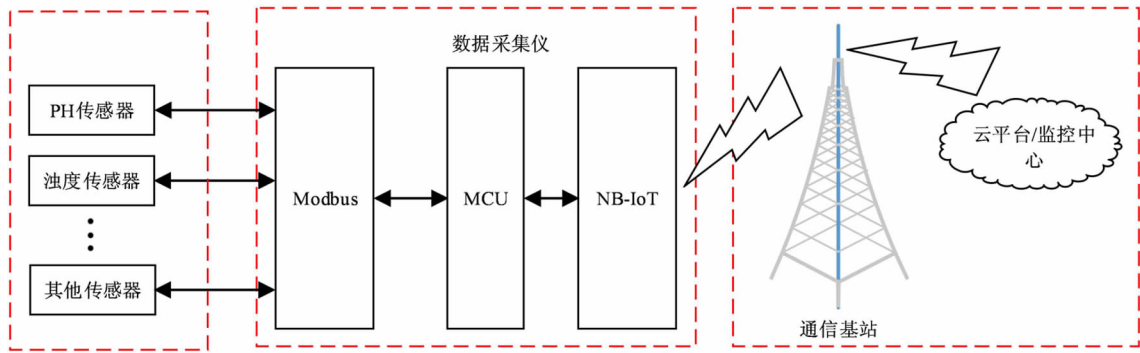


图 1 总体设计框图

2 硬件设计

采集仪的硬件结构如图 2 所示。以 STM32L151RET6 微控制器为核心,包含电压转换模块、MOS 管通断模块、存储模块、RS485 通信模块和 NB-IoT 通信模块。

2.1 电压转换模块

采集仪使用 12 V 电池供电,而 STM32L151RET6 的工作电压为 3.3 V。为了适应 STM32L151RET6 的工作电压要求,选择德州仪器公司生产的 TPS54302 同步降压转换器作为解决方案。TPS54302 效率高,具有 4.5~28 V 的宽输入电压范围,关断电流低至 2 μ A,静态电流为 45 μ A,适用于低功耗仪器。

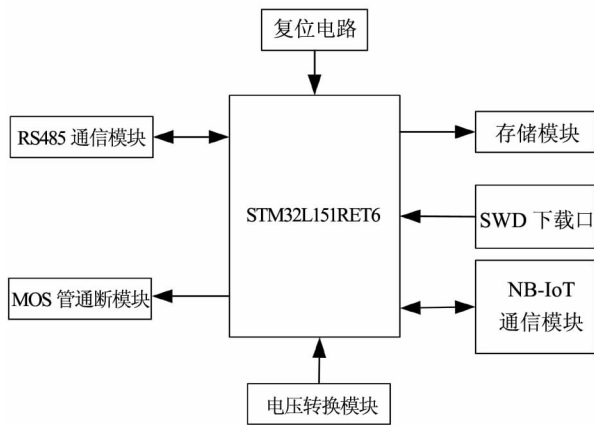


图 2 硬件设计框图

由于电池在使用过程中电压会下降,因此无法直接为传感器提供所需的 12 V 工作电压。为此,需要使用升压电路将电压升至 12 V,以满足传感

2.5 MOS 管通断模块

MOS 管通断模块利用微控制器的 GPIO 端口和 MOS 管通断电路控制外设电源的通断。电源通断处理电路图如图 5 所示。当 GPIO 端口输出

高电平时, MOS 管导通, 开启外设电源; 当 GPIO 端口输出低电平时, MOS 管截止, 电源关闭, 外设停止工作。

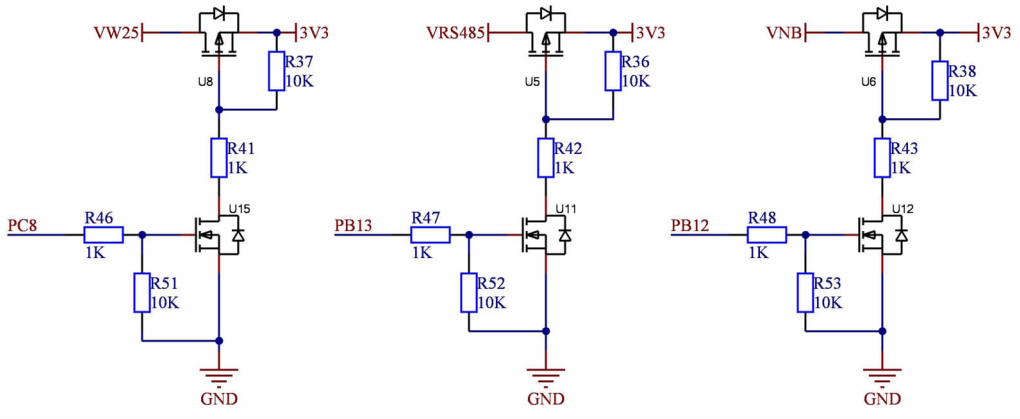


图 5 电源通断处理电路图

3 软件设计

软件设计采用 Keil 集成开发环境平台, 利用 C 语言编写程序, 采用模块化设计, 提高程序的可读性和可移植性。

3.1 Modbus 协议转 HJ212-2017 协议设计

Modbus 采用主从通信方式, 通讯由主机发起, 主机发送的数据帧中包含从机地址、功能码、数据和 CRC 校验码。从机接收主机发送的数据帧进行 CRC 校验后解析数据帧中的地址, 判断数据中的地址是否与本地地址相同。如果相同, 则从机根据功能码响应主机; 如果不相同, 则从机忽略该数据帧, 不做任何响应。

假设传感器的地址为 01, 功能码 03 代表读寄存器的内容, 采集仪需要读取传感器的数据则需要发送的数据帧格式如表 1 所示。传感器接收到主机发送的数据帧后进行响应, 回复的数据帧格式如表 2 所示。

表 1 数据采集仪发送数据帧格式

01	03	xx	xx	xx	xx	xx	xx
地址	功能码	起始地址	读取长度	CRC 校验码			

表 2 传感器响应数据帧格式

01	03	xx	xx	xx	xx	xx
地址	功能码	长度	数据值	CRC 校验码		

HJ212-2017 协议是由环境保护部于 2017 年实施的污染物在线监控(监测)系统数据传输协议, 用于统一各类监控仪器、采集终端的通信协议, 实现监控仪器、采集终端和环保部门监控中心之间的互联互通。Modbus 协议转 HJ212-2017 协议的设计如图 6 所示。微控制器通过 Modbus 协议读取传感器采集的数据, 接着分别构建 CP、QN、ST、CN、PW、MN 以及 Flag 数据包。如果需要设置拆分包, 则构建 PNUM 总包数数据包和 PNO 包号数据包; 反之, 则直接进入下一步。接着, 计算数据包的总长度和 CRC 校验码。最后, 构建包头和包尾。

3.2 主程序设计

采集仪采用电池供电, 为满足采集仪长时间运行的要求, 在软件设计时采用短时间工作、长时间休眠、定时休眠和中断唤醒的工作模式, 主程序设计如图 7 所示。

采集仪通过使用 Modbus 协议与各类传感器通信, 将采集的数据转换为 HJ212-2017 协议的格式, 并利用 BC28 模块将数据上传至环保部门的监控中心。定时器的作用是让采集仪在定时时间内能够接收监控中心发送的参数命令并进行相应的处理, 定时时间到, 则采集仪存储数据并设置 RTC 唤醒时间后进入低功耗模式。当到达 RTC 唤醒时间, RTC 产生中断信号唤醒采集仪, 如此循环往复, 直至电量耗尽。

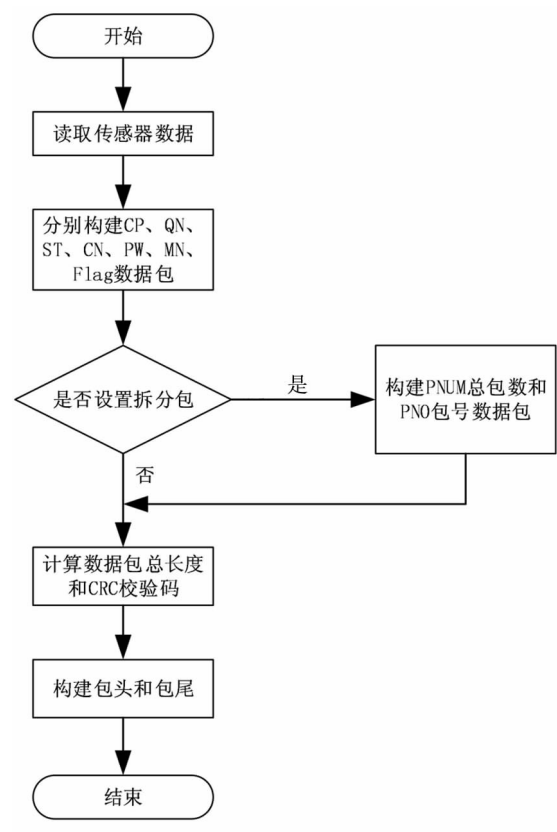


图 6 Modbus 协议转 HJ212-2017 协议程序流程图

4 测试与结果分析

本次测试时采集仪连接了一只浊度传感器、一只 pH 传感器和一只电导率传感器,设置五分钟采集一组数据,通过 RTC 唤醒,定时器的定时时间设置为九十秒。采集仪的一个工作周期内包含三种状态,分别是工作状态、接收状态和休眠状态。由于在工作状态传感器的工作会消耗一部分电能,在不同应用场景下搭配的传感器不同导致消耗的电能也不同。因此,在此处仅按照本次实验时消耗的电能计算。并且因为监控中心向采集仪下发设置指令的频次并不高,所以将接收状态时的电流按照系统待机时的电流计算,测得各状态下的平均工作电流如表 3 所示。

表 3 各状态下平均工作电流

统计项	平均工作 电流/mA	平均工作 时间/s
工作状态	94	60
接收状态	9	30
休眠状态	0.3	210

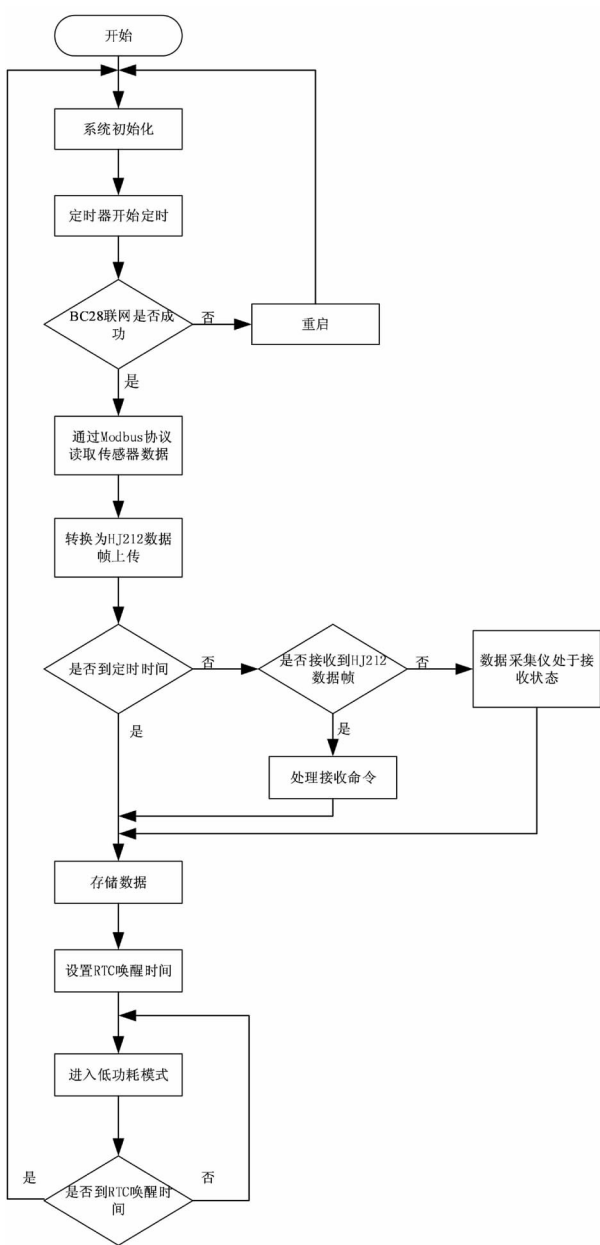


图 7 主程序流程图

则在一个工作周期内消耗的电能为:

$$Q = I \cdot T = 5973 \text{ mA} \cdot \text{s} \tag{1}$$

式中: Q 为一个工作周期内消耗的电能,单位为 $\text{mA} \cdot \text{s}$; I 为电流,单位为 mA ; T 为时间,单位为 s 。

设置一个工作周期的时间为五分钟,电池容量为 $80 \text{ A} \cdot \text{h}$,根据工作经验取电池的放电系数^[13] α 为 80%。则采集仪的运行时间为:

$$D = \frac{1000 \times 3600 \times 5 \times C \times \alpha}{60 \times 24 \times Q} \approx 134 \text{ 日} \tag{2}$$

式中: D 为采集仪的运行时间,单位为 d ; C 为电池容量,单位为 $\text{A} \cdot \text{h}$ 。

由此可知,采集仪一次充满电的运行时间约为 134 日。

本设计采用浙江某公司开发的 HJ212-2017 协议测试平台作为监控中心,此平台可以实现 HJ212-2017 协议的解析与显示。由于在 HJ212-2017 的水监测因子编码表中没有浊度的编码因

子。因此,在本设计中采用自定义的浊度编码因子。报文解析数据如图 8 所示。采集仪传输的数据格式符合 HJ212-2017 协议,并且能够与测试平台对接以展示数据。

< 环保报文 ×

设备标识: 输入角色名 请求编码: 选择日期范围 数据时间: 选择日期范围 搜索

+ 添加 删除

☐	请求编码	系统编码	命令编码	设备标识	拆分包及应...	pH	电导率	浊度
☐	2023-07-07 20:17:41	32	2011	010000A89...	5	6.4	318	330.6
☐	2023-07-07 20:12:38	32	2011	010000A89...	5	6.4	316	336.7
☐	2023-07-07 20:07:36	32	2011	010000A89...	5	6.4	316	335.7
☐	2023-07-07 20:02:35	32	2011	010000A89...	5	6.4	319	339.4
☐	2023-07-07 19:57:33	32	2011	010000A89...	5	6.4	319	343
☐	2023-07-07 19:52:32	32	2011	010000A89...	5	6.4	319	349.3
☐	2023-07-07 19:47:30	32	2011	010000A89...	5	6.4	320	352.4
☐	2023-07-07 19:42:28	32	2011	010000A89...	5	6.4	320	353.6
☐	2023-07-07 19:37:27	32	2011	010000A89...	5	6.4	319	362.2
☐	2023-07-07 19:32:25	32	2011	010000A89...	5	6.4	319	367.9
☐	2023-07-07 19:27:24	32	2011	010000A89...	5	6.5	320	372
☐	2023-07-07 19:22:22	32	2011	010000A89...	5	6.5	320	374
☐	2023-07-07 19:17:20	32	2011	010000A89...	5	6.5	320	374.4

图 8 数据显示界面

5 结 论

针对地下管网数据采集困难、监测方式落后等问题,设计了一种基于 NB-IoT 的数据采集仪,实现对地下管网水质的实时监测。通过实验获得主要结论如下:

- (1)采集仪的数据传输符合 HJ212-2017 协议,能够与监测平台对接完成数据的显示;
- (2)采集仪在工作状态、接收状态和休眠状态时的平均工作电流分别为 94 mA、9 mA 和 300 μ A,一次充电使用时间约为 134 日。
- 以上数据表明采集仪运行稳定、功耗低,能够为环保部门提供监测数据和决策依据,避免发生水资源污染事件,保护生态环境,具有广泛的应用前景。

参考文献

[1] 陈军,盛占石,陈照章,等. 基于 GPRS 的水质自动监测系统的设计[J]. 传感器与微系统,2009,28(7):77—79.

[2] 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.

[3] 周皓东,黄燕,刘炜. 基于 WiFi 无线传感器网络的水质监测系统[J]. 传感器与微系统,2015,34(5):99—101+105.

[4] 包启明,陈益民,苏波兰. 基于 ZigBee 和 3G 的远程监测系统的设计[J]. 计算机测量与控制,2014,22(10):3171—3173.

[5] 张燕,刘晓莎,汪晓红,等. 基于 WSN 的水质自动监测系统硬件电路设计[J]. 机械与电子,2021,39(2):55—58+64.

[6] 张娜,杨永辉. 基于物联网的水质监测系统设计与实现[J]. 现代电子技术,2019,42(24):38—41+45.

[7] 郑志彬,陈德,吴昊. 新兴窄带物联网技术 NB-IoT[J]. 物联网学报,2017,1(3):24—32.

[8] 贾青青,贾纹纹,张秦,等. 基于 NB-IoT 的典型气体污染物实时监测系统[J]. 传感器与微系统,2022,41(9):102—104+108.

[9] 杨鑫鑫,陈昌鑫,任一峰. NB-IoT+云平台的分布式光伏监测系统[J]. 仪表技术与传感器,2023(1):78—81.

[10] 李洪兵,罗洋,张颖,等. 基于模糊 PID 控制的 NB-IoT 果蔬农业物联网系统设计与试验[J]. 中国农机化学报,2023,44(1):162—171.

[11] 葛金鑫,杨慧同,崔宝同. 基于物联网的窖井数据采集系统设计[J]. 传感技术学报,2020,33(4):601—607.

[12] HJ212-2017. 污染物在线监控(监测)系统数据传输协议[S].

[13] 周利明,韦崇峰,苑严伟,等. 基于无线传感网络的改碱暗管排盐监控系统[J]. 农业工程学报,2018,34(6):89—97.