

# 隧道防汛监控预警系统设计

李明<sup>1</sup>, 董晨乐<sup>1</sup>, 杨延宁<sup>1,2</sup>, 董军堂<sup>1</sup>

(1. 延安大学 物理与电子信息学院, 陕西 延安 716000;

2. 南昌理工学院 电子与信息学院, 南昌 330044)

**摘要:** 下穿式隧道是城市交通中快速通道的重要形式,但在雨季汛期容易发生积水现象,影响交通安全和效率;目前常用的隧道积水检测方法存在测量不准确、反应不及时、维护成本高等;为了实现下穿式隧道水位的实时监测预警,设计了一种基于STM32F103C8T6主控芯片、HC-SR04超声波传感器和nRF24L01通信模块的水位检测系统;从机位负责采集隧道口易积水地区的水位高度,并通过无线方式发送给主机位;主机位负责接收并处理水位信息,并在OLED12864显示屏上显示实时水位及相应警告;该系统具有测量精度高、响应速度快、功耗低、安装简便等特点;实验结果表明,该系统能够准确地测量隧道口易积水地区的水位高度,并在OLED12864显示屏上显示相应警告信息,达到了预期效果;为下穿式隧道积水检测提供了一种新颖有效的解决方案,并为其他类似场景中的水位监测提供了参考。

**关键词:** 隧道防汛; STM32F103C8T6; HC-SR04; nRF24L01; 水位监测

## Design of Tunnel Flood Control Monitoring and Early Warning System

LI Ming<sup>1</sup>, DONG Chenle<sup>1</sup>, YANG Yanning<sup>1,2</sup>, DONG Juntang<sup>1</sup>

(1. School of Physics and Electronic Information, Yan'an University, Yan'an 716000, China;

2. School of Electronics and Information, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330044, China)

**Abstract:** Underpass tunnels are an important form of fast lanes in urban traffic, but there is a phenomenon of water accumulation during the rainy season and flood period, which affects the traffic safety and efficiency. Current tunnel water detection methods have many shortcomings, such as inaccurate measurement, slow response, high maintenance cost, etc. To achieve the real-time monitoring and early warning of water level in underpass tunnels, a water level detection system based on STM32F103C8T6 main control chip, HC-SR04 ultrasonic sensor and nRF24L01 communication module is designed. In this system, the slave station is responsible for collecting the water level height of the easy water-logged area at the tunnel entrance and sending it wirelessly to the master station, the master station is responsible for receiving and processing the water level information and displaying the real-time water level and corresponding warning on OLED12864 screen. The system has the characteristics of high measurement accuracy, fast response speed, low power consumption, easy installation, etc. Experimental results show that the system can accurately measure the water level height of easy water-logged area at tunnel entrance and display corresponding warning information on OLED12864 screen, achieving the expected effect. It provides a novel and effective solution for underpass tunnel water detection and a reference for water level monitoring in other similar scenarios.

**Keywords:** tunnel flood control; STM32F103C8T6; HC-SR04; nRF24L01; water level monitoring

## 0 引言

随着城市的发展,市区规模的进一步扩大,快速路逐渐成为城市道路建设中非常重要的一项基础设施建设,下沉式隧道作为城市快速路的一种重要表现形式,有着其他快速路无法比拟的特点,但由于近年来极端天气频繁出现,我国部分城市不同程度的出现了内涝灾害现象。

本文设计了针对隧道的防汛预警系统,本系统采用非

接触式超声波测量以及接触式水位传感器测量的方法,实时监测雨天时易积水处积水深度,将测量数据发送给上位机,数据由上位机处理后实时显示在OLED12864显示屏上。当水位低于安全阈值时,声光报警模块不发出警报;当水位达到设定的警戒阈值时,声光报警器发出第一次警报,OLED12864显示屏提示车辆绕行;当水位达到设定的最大阈值时,声光报警器发出第二次警报,OLED12864显示屏提示车辆禁止通行。

收稿日期:2023-01-17; 修回日期:2023-03-06。

基金项目:延安科技计划项目(2019ZCNZ-001);陕西省能源大数据智能处理重点实验室项目(IPBED11,IPBED16);陕西省教育厅科技计划项目(21JK0983);延安大学疫情防控应急科研项目(ydfk061)。

作者简介:李明(1991-),男,陕西延安人,硕士,讲师,主要从事智能检测与控制方向的研究。

杨延宁(1969-),男,陕西延安人,博士,教授,主要从事智能检测与控制方向的研究。

董军堂(1973-),男,陕西延安人,硕士,副教授,主要从事智能检测与控制方向的研究。

引用格式:李明,董晨乐,杨延宁,等.隧道防汛监控预警系统设计[J].计算机测量与控制,2023,31(8):251-258.

国内隧道防汛预警系统发展较为缓慢,大多数隧道在新建成初起时未考虑到可能面临的灾情,目前国内具有代表性的有广州市黄埔区 19 个隧道以及白云区部分隧道安装了智能自动防汛监控预警系统,安装的城市基本都是年降水量普遍较高的地区,而内陆大部分城市因为年降水量较少的缘故忽略了对于隧道易积水、易倒灌而可能导致的灾情进行有效的监控及预警。

国外部分国家及地区十分重视防汛减灾,以日本东京为例,在东京市区由热岛现象引发的局部集中暴雨频繁发生,都市型水灾成为严重问题。东京都针对极端降雨,从构筑排水分洪系统、装备高性能气象雷达预测突发性暴雨等方面发展对策<sup>[1]</sup>。

## 1 系统结构及原理

针对可能出现的暴雨等极端天气造成的城市内涝现象导致隧道大量积水的情况,本论文以 STM32F103C8T6 单片机为主控芯片设计了一种针对隧道的防汛预警系统。该系统需要测量的水位信息由 HC-SR04 超声波传感器进行测量,通过设立多机位测量的方式提高水位测定的精确度,在测量的水位最深处达到阈值时发出警报并发送相关警示信息进行提前预警,以减少可能造成的人员伤亡以及财产损失等情况。具体研究内容如下:

1) 设立 2 个机位,1 号机负责测量实时水位信息,并将数据发送给 2 号机,2 号机负责接收 1 号机发送的信息,实时显示当前水位,在水位到达阈值时发出警报并发送警报提示。

2) 当 1 号机监测水位到达相应阈值时,2 号机分别有以下几种状态:

(1) 1 号机监测水位低于 4 cm 时:声光报警器不启动,OLED12864 显示隧道可安全通过,发送安全信息;

(2) 1 号机监测水位高于 4 cm,低于 8 cm 时:声光报警器启动,OLED12864 显示隧道积水较多请绕行,发送二级预警信息;

(3) 1 号机监测水位高于 8 cm 时:声光报警器启动,OLED12864 显示隧道封闭禁止通行,发送一级预警信息。

总电路是以上各个模块的组合,其中主控电路由 STM32F103C8T6 作为主控芯片进行控制,HC-SR04 超声波模块负责测量水位高度,采用单片机内部定时器记录超声波发出与返回的时间差,并通过发送端单片机内部所下载的程序进行计算和判断水位是否达到相应阈值,并将检测的水位信息实时发送给接收端,经过接收端单片机处理后显示在 OLED12864 上。当达到相应阈值时声光报警模块工作,发出警报,接收端在 OLED12864 上显示相应的报警提示。隧道防汛监控预警系统总电路如图 1 所示。

## 2 系统设计

隧道防汛监测预警系统由主控电路、水位检测模块、GSM 短信发送模块、OLED 显示屏模块、无线通信模块、

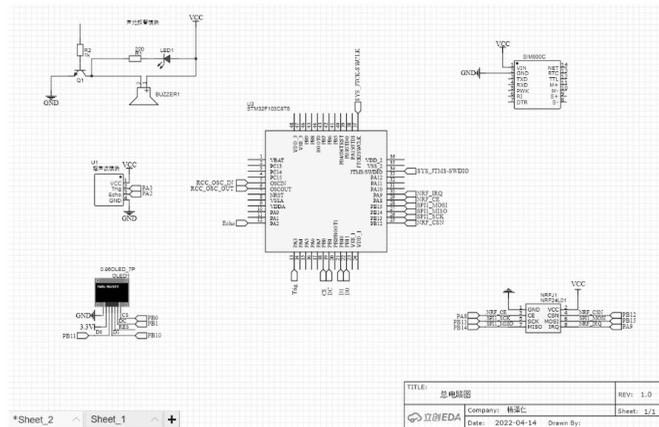


图 1 隧道防汛监控预警系统总电路图

声光报警模块共六部分组成。本章重点阐述系统各个功能模块所需器件的选型和控制系统设计方案以及工作原理。

### 2.1 系统方案论证

#### 2.1.1 主控芯片选择

方案一:选用 MSP-EXP430G2 LaunchPad 系列中的 MSP430G2553 单片机。MSP430G2553 单片机可在 230  $\mu$ A, 2.2 V 的条件下运行,具有 24 个触摸感测的 I/O 接口、多个通用串行通信接口等外设的超低功耗 16 位微控制器<sup>[2]</sup>。该单片机板载串口程序下载调试器,可使用 IAR Embedded Workbench 或者 Code Composer Studio 集成开发环境对软件程序进行编写、下载和调试应用。其优点是超低功耗,具有相对成熟的开发环境,下载程序较为简单,缺点是引脚较少,成本较高。

方案二:选用 STM32F103 系列中的 STM32F103C8T6 单片机。STM32F103C8T6 包含以 72 MHz 频率的高性能 Cortex-M3 RISC 内核、高速嵌入式内存以及增强型 I/O 接口和外围电路<sup>[3-4]</sup>。同时具有 2 个 1  $\mu$ s 的 12 bit ADC 通道,2 个 18 M/s 的 SPI 通信接口,3 个 4 M/s 的 USART 串口等外设。其优点是具有较高的性能,功耗较低,具有成熟完整的开发环境,成本低,缺点是开发难度较高,指令相对复杂。

综上所述,MSP430 系列单片机虽然具有指令较为简单、超低功耗等特点,但由于 MSP430G2553 单片机运算速度慢于 STM32F103C8T6 单片机,且价格相对较高<sup>[5]</sup>。故从价格、运算速度等方面考虑,本系统采用方案二。STM32F103C8T6 管脚如图 2 所示。

#### 2.1.2 水位检测模块选择

水位检测常用的方法主要有以下五种:

1) 水压测液位法:测量水压,通过压强公式  $P = \rho \cdot g \cdot H + P_0$  计算出水位高度。

2) 光学折射测液位法:利用光在两种不同介质的界面会发生反射折射现象,且在不同的介质中折射率不同的原理来检测水位高度<sup>[6]</sup>。

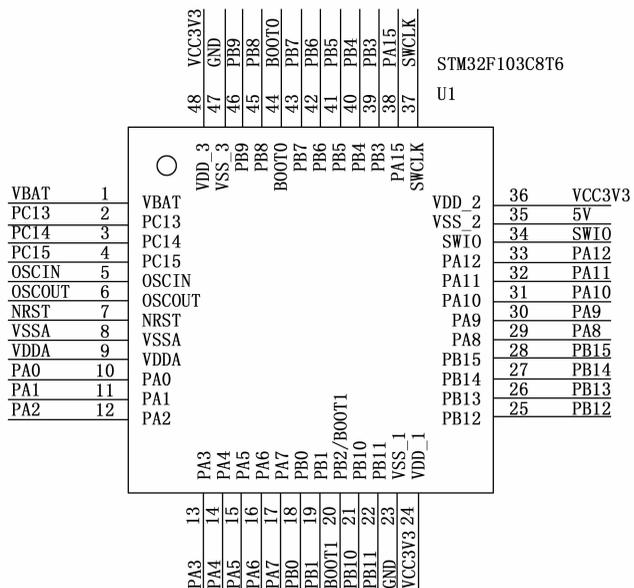


图 2 STM32F103C8T6 管脚图

3) 浮子浮力测液位法: 利用浮力, 使浮子上浮, 通过浮子上升来确定水位。

4) 接触式电容测液位法: 根据有水 and 无水状态时不同的电容变化来确定水位。

5) 非接触式超声波测液位法: 利用超声波测距原理, 通过检测计算超声波发射和接收的时间差来计算水位高度。

6) 通过对以上五种方法的了解, 隧道防汛预警系统的研究和设计过程中选择使用相对简便且成本较低的非接触式超声波测液位法。

方案一: 选用 HY-SRF05 超声波模块。该超声波模块可以实现 2~450 cm 的非接触式测距功能, 也可自动发送方波并检测回波, 但是要求被测物体面积不少于 0.5 m<sup>2</sup>, 这个测距条件难以满足。

方案二: 选用 HC-SR04 超声波传感器。该传感器内部电路中由发射、接收声波电路以及控制电路组成。该传感器所使用的测量方法是渡越时间法, 并且其测量范围宽广, 精度很高, 可达 3 mm。HC-SR04 传感器的部分电气参数如表 1 所示。

表 1 HC-SR04 电气参数

电气指标	电气参数值
工作电压	DC 5 V
工作电流	15 mA
工作频率	40 kHz
最远射程	4 m
最近射程	2 cm
测量角度	15°
输入触发信号	10 μs 的 TIL 脉冲
输出回响信号	输出 TIL 电平信号, 与射程成比例
规格尺寸	45 mm × 20 mm × 15 mm

综上所述, HC-SR04 超声波传感器具有完整的集成电路, 降低了对单片机的需求, 使用方法简单便捷且工作性能和电气性能比较符合本设计系统, 因此选用 HC-SR04 传感器<sup>[7]</sup>。

### 2.1.3 显示屏模块选择

方案一: OLED12864 (7Pin) 采用 SSD1306 为主芯片, 其显示分辨率为 128×64, 通信方式有 SPI 通信或 IIC 通信两种方式, 引脚完全兼容 IIC, 其默认通信方式是 4-Wire SPI 通信, OLED12864 可完成 BMP 格式的图形显示以及四行八列共 32 个 16×16 点阵大小的中文汉字显示, 其优点是功耗较低, 显示清晰, 价格相对较低, 程序电路相对简单。

方案二: LCD12864 是一种具有 4 位或 8 位并行, 2 线或 3 线串行多种接口方式的点阵图形液晶显示模块, 其显示分辨率是 128×64, 可完成图形显示, 也可显示四行八列共 32 个 16×16 点阵大小的中文汉字或 16×8 点阵大小的 ASCII 字符集。其优点可显示图形及汉字, 缺点是价格相对较高, 功耗相较于 OLED 较高, 程序及电路相对复杂。

综上所述, 因为本设计需要清晰显示汉字及相关信息, LCD12864 与 OLED12864 都可同时显示多个汉字, 但 OLED12864 的显示效果及对比度相较于 LCD12864 好, 同时基于成本、功耗和程序代码的简洁程度等方面的考虑, 所以选用 OLED12864 液晶显示屏进行显示, 图 3 为 OLED\_7 Pin 原理图。

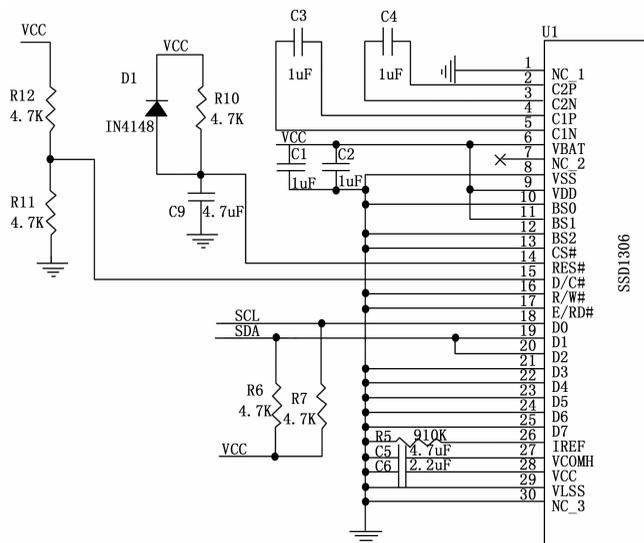


图 3 OLED\_7 Pin 原理图

### 2.1.4 无线通信模块选择

本设计采用双机位进行系统构建, 在两个机位中需要进行短距离无线通信, 常见的无线通信方案有以下几种:

1) 无线编解码芯片: 其具有编码选择端口供用户选择, 用户可对数据进行编码操作后以无线传输的形式发送数据给解码器; 无线解码器接收编码器所发送的数据并执

行解码操作，并进行相应处理。常用的编码解码芯片有 PT2262 与 PT2272。

2) 无线数据传输芯片：在短距离无线通信中，无线数据传输芯片以其特有的抗干扰能力强、可靠性高、安全性好、安装简便灵活等特点被广泛运用<sup>[8]</sup>。nRF24L01 与 CC1100 被广泛运用于生活中的无线传输场景。

3) ZigBee：ZigBee 技术是一种可实现无线自组网的技术，可以按照使用者的不同需求构建出有相应差异的网络拓扑结构<sup>[9,10]</sup>，ZigBee 适合具有低功耗要求的中小型设备进行组网。

4) Wi-Fi：Wi-Fi 作为无线通用局域网连接方式，基于 2.4 GHz 的 ISM 频段进行数据的无线传输，具有更高的安全性、更宽的带宽、更低的功耗、更强的射频信号等优点，其缺点是无法有效进行中长距离通信<sup>[11]</sup>。

5) 蓝牙：蓝牙的连接方式与 Wi-Fi 类似，同样使用 2.4 GHz 的 ISM 频段进行短距离慢速数据收发。蓝牙连接方式非常简单、功耗低，在日常生活中应用范围非常广泛。其缺点是通信距离很短，收发两端障碍较多时无法有效连接，无法快速传输大量数据。

6) IrDA：IrDA 使用红外进行通信，是一种低成本、低功耗的短距离无线通信方案。该协议保证了通信距离为 0~1 m，偏轴角为 0~15°的无错通信<sup>[12]</sup>。IrDA 在短距离传输信息时具有很高的安全性，其最大缺点是对传输路径的要求相对较高，无法穿透墙壁等不透明物体，并且传输距离和收发器角度非常有限。

综上所述，本设计采用无线数据传输芯片作为无线通信方式，使用 nRF24L01 进行通信，这是一款新型单片射频收发器件，可在 2.4~2.5 GHz ISM 频段内进行工作<sup>[13]</sup>。其内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器、调制器等功能模块，并集成了增强型 Shock Burst 技术，可通过编程的方式对输出功率和通信频道进行配置<sup>[14]</sup>。nRF24L01 具有超低功耗，高性能，价格低，传输距离远等优点，因此本系统选择使用 nRF24L01 作为数据传输模块。

### 2.1.5 GSM 短信收发模块

本系统需要将发生险情时的水位信息以及相应报警信息以短信的方式发送至手机端以进行险情预警<sup>[15-16]</sup>。考虑到实际中发送短信的情况，本系统采用 GPRS 无线通信的方式，使用 SIM800C 模块，该模块成本较低，具有多样的硬件接口，与单片机连接简单。

### 2.1.6 声光报警模块

本系统在需要水位到达相应阈值时发出警报，在实际情况中，人对于较为尖锐的声音以及灯光较为敏感，考虑以上两个特点，本系统采用蜂鸣器与 LED 灯相结合的方式作为声光报警模块。

## 2.2 系统设计方案及工作原理

隧道防汛预警系统基于 STM32 单片机，使用超声波传感器对水位进行实时测量，并保证测量数据的准确性，图 4

为系统总体方案框图。该系统由主控芯片、超声波测距、OLED12864 显示、nRF2L01 通信、GSM 短信模块、声光报警、电源共七部分构成。

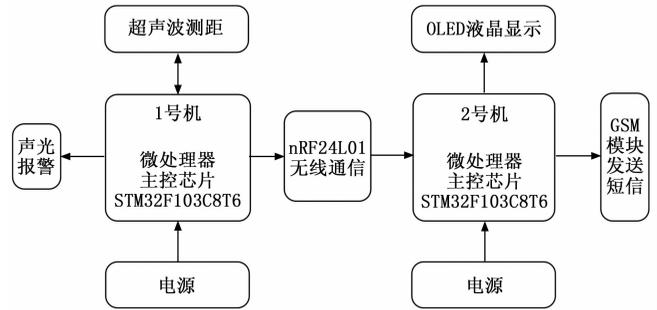


图 4 系统总体方案图

隧道防汛预警系统的工作原理为，以 STM32 为该系统的主要结构，通过从机 HC-SR04 传感器进行超声波信号的发出和接收来进行水位测量，测量的数据通过 nRF24L01 传输至主机并通过 OLED12864 进行相关信息值的显示，在达到相关阈值时发出警报。

## 3 系统硬件电路设计

隧道防汛预警系统的硬件电路包括主控部分、超声波传感器检测部分、显示部分、通讯部分及声光报警五部分。硬件电路采用立创 EDA 进行绘制，其操作界面简单，增强功能多，原理图库文件丰富，能够提高工作效率，实现设计工作流程可视化和快速布线并保障硬件设计质量<sup>[17]</sup>。

### 3.1 主控电路设计

主控电路是以 STM32F103C8T6 作为主要控制单元，使用其最小核心系统板进行设计，确保电路正常运行。其最小核心板基于 Cortex-M3 内核，采用 LQFP48 封装，拥有 2 个 12 bit ADC 通道，4 个 16 bit 定时器以及 2 个 I<sup>2</sup>C 通信接口、2 个 SPI 通信接口、3 个 USART 串口通信接口和 1 个 CAN 总线接口等外围电路。在烧录程序时，使用 ST-Link 与单片机的 SW 调试引脚相连接进行烧录。主控电路设计如图 5 所示。

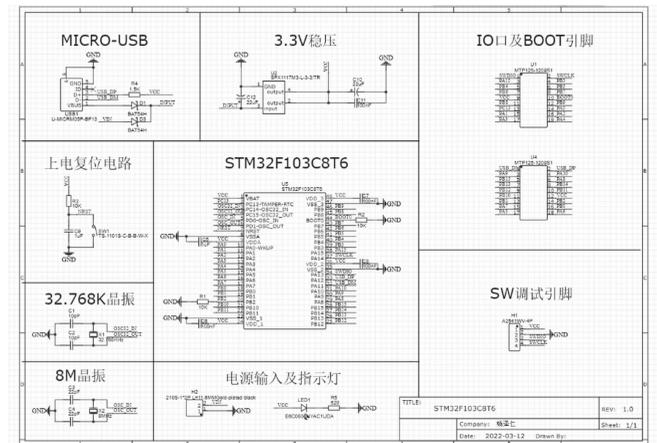


图 5 主控电路设计图

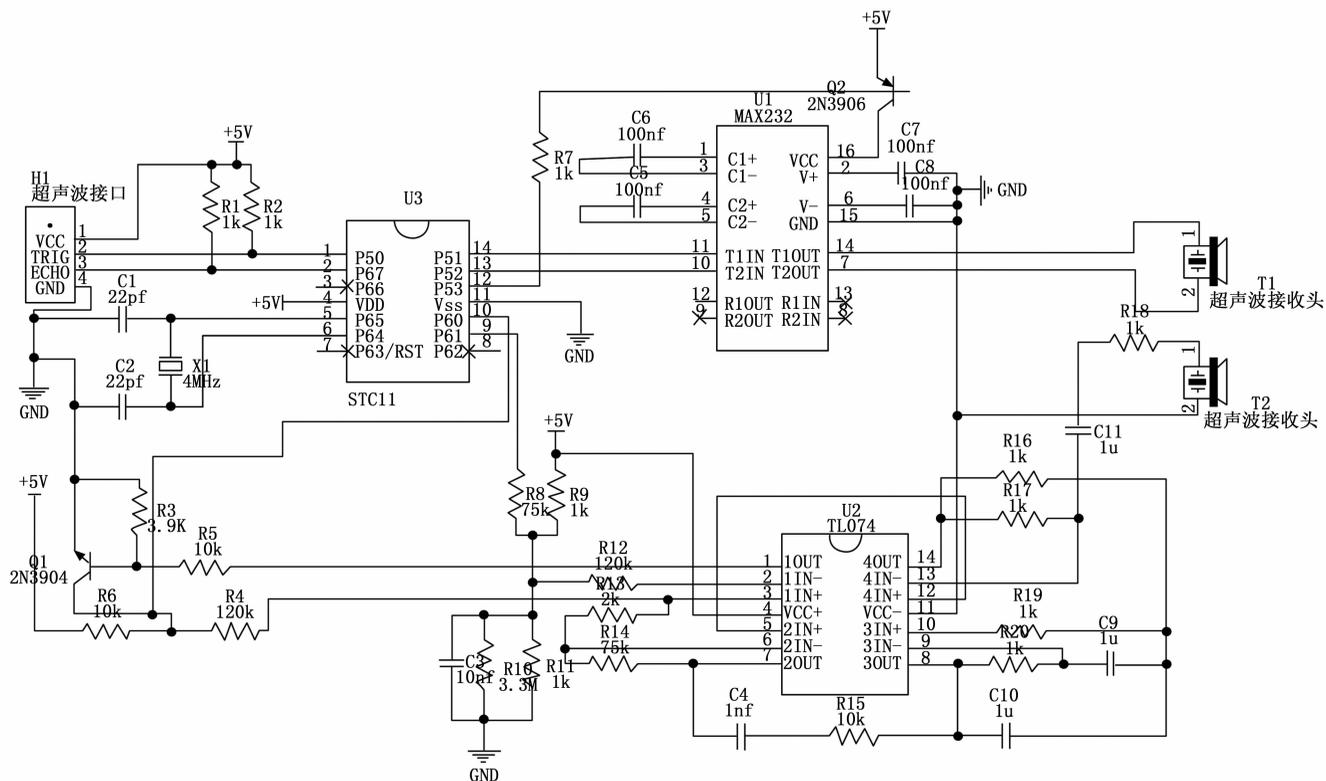


图 6 水位检测电路

### 3.2 水位检测电路设计

系统选择将 HC-SR04 超声波传感器作为水位检测电路中的测距模块。该传感器是成熟的集成产品,性能稳定,测量范围为 20~400 cm,其测量盲区小,测距精度比较高。根据要求将单片机的引脚分配给传感器,就可以实现单片机与监控模块的联动。水位检测电路的电路如图 6 所示。

该超声波模块有 4 个引脚,分别为 VCC、Trig、Echo 和 GND,HC-SR04 超声波模块的引脚说明如表 2 所示。

表 2 HC-SR04 引脚说明

编号	符号	引脚说明
1	VCC	电源输入
2	Trig	脉冲触发
3	Echo	回波引脚
4	GND	接地

### 3.3 显示电路设计

系统采用 OLED12864 显示屏将测量的水位信息进行实时显示并将相关报警信息表示出来,方便人们及时观察到系统所检测的实时水位信息以及险情发生时的报警提示。根据 OLED12864 引脚情况说明,确定显示部分硬件电路,图 10 为 OLED12864 显示电路图。OLED12864 引脚说明如表 3 所示。

### 3.4 数据传输电路设计

隧道防汛监控预警系统在实际应用过程中,因隧道设计长度较长以及的原因,测试端与显示端必须采用无线通

信的方式进行数据传输,为了进行中长距离通信,该系统选用 nRF24L01 通信模块进行数据传输。在系统中,nRF24L01 可以进行百米以上的中长距离通信,nRF24L01 的引脚说明如表 4 所示。

表 3 OLED12864 引脚说明

符号	描述
GND	接地
VCC	电源输入
D0	时钟输入
D1	数据输入/应答输出
RES	复位信号输入
DC	数据/命令选择输入
CS	片选

表 4 nRF24L01 引脚说明

符号	描述
GND	接地
VCC	电源输入
CE	控制引脚
CSN	片选引脚
SCK	SPI 总线时钟
MOSI	SPI 输入引脚
MISO	SPI 输出引脚
IRQ	中断信号输出

根据 nRF24L01 引脚情况说明，确定数据传输部分硬件电路，nRF24L01 数据传输电路如图 7 所示。

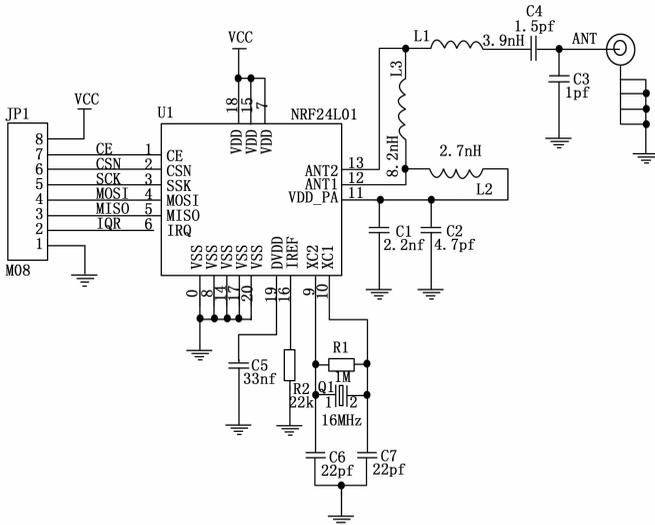


图 7 nRF24L01 数据传输电路图

### 3.5 声光报警电路设计

由于该设计需要在水位达到阈值时进行报警，将声光报警电路连接到端口，选用 2.2 K 电阻保护电路。使用 8550PNP 三极管进行连接，同时使用 1 K 电阻对 LED 二极管进行限流保护。本系统选用有源蜂鸣器，可以通过单片机内部定时器进行计时操作，实现波形的输出从而驱动蜂鸣器。当测量的水位达到既定阈值时，蜂鸣器发出报警同时 LED 点亮。

### 3.6 总电路设计

总电路是以上各个模块的组合，其中主控电路由 STM32F103C8T6 作为主控芯片进行控制，HC-SR04 超声波模块负责测量水位高度，采用单片机内部定时器记录超声波发出与返回的时间差，并通过发送端单片机内部所下载的程序进行计算和判断水位是否达到相应阈值，并将检测的水位信息实时发送给接收端，经过接收端单片机处理后显示在 OLED12864 上。当达到相应阈值时声光报警模块工作，发出警报，接收端在 OLED12864 上显示相应的报警提示。

## 4 软件设计

### 4.1 软件电路主流程设计

在系统初始化后，发送机通过 HC-SR04 超声波传感器测量实时水位距离信息，通过单片机程序中相应计算公式进行计算，将距离信息通过 nRF24L01 发送给接收机，接收机处理数据后在 OLED12864 上显示实时水位信息，同时接收机根据收到的数据与阈值进行对比，当未达到阈值时，OLED12864 仅显示水位信息；当超过阈值时，OLED12864 在显示水位信息的同时显示相关警示信息，声光报警模块启动工作，蜂鸣器发出声响，LED 灯被点亮，GSM 模块将警示信息以短信方式发送至手机。当水位降至阈值以下时，

系统返回第一个循环并继续执行，重复上述循环。主程序流程如图 8 所示。

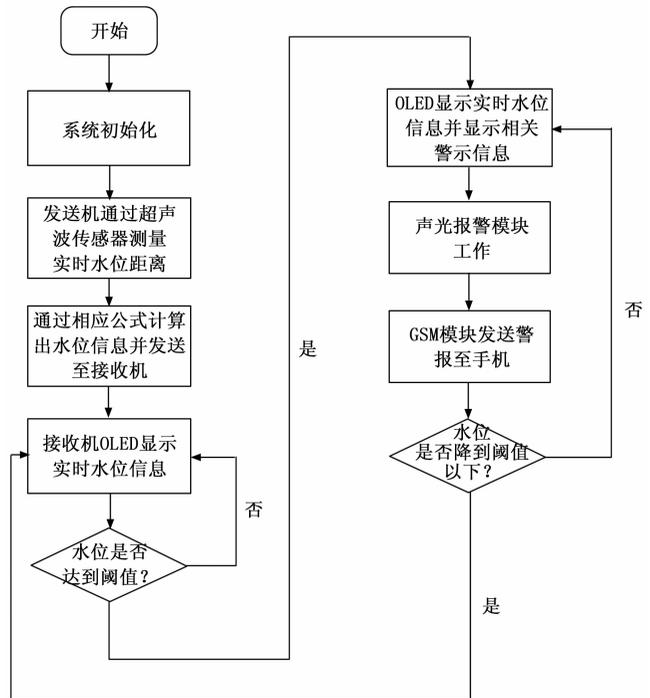


图 8 系统主流程图

### 4.2 水位检测流程设计

超声波测距模块通过电源的连接启动测距子函数，Trig 引脚发出超声波，Echo 引脚处于置高状态，使用 STM32F103C8T6 单片机自带的 16 bit 定时器进行计时操作。STM32F103C8T6 单片机的定时器根据超声波传感器的 Echo 引脚电平被置高的工作时间来记录超声波从发出到接收的时间，根据单片机中已经设定好的距离计算程序计算出所测量的距离。

### 4.3 液晶显示流程设计

OLED12864 液晶显示步骤：

- 1) OLED12864 显示屏使用语句 OLED\_Clear () 进行初始化操作，显示屏清屏，无错误信息显示；
- 2) 使用语句 OLED\_ShowString () 显示数字及字符，OLED\_ShowCHinese () 显示中文汉字，通过坐标方式确定字符显示的位置信息；
- 3) 根据字符的位置信息进行字符显示，确保字符正常显示在正确的位置。

## 5 系统的仿真与调试

基于 STM32F103C8T6 单片机的隧道防汛监测预警系统的程序仿真和硬件调试包括：STM32CubeMX 配置并定义管脚；Keil  $\mu$ V5 程序编译、调试与烧录；硬件电路仿真设计与焊接，具体实现步骤如下：

- 1) 使用 STM32CubeMX 配置 STM32F103C8T6 的管脚，Keil5 编写的 C 语言程序运行检测、编译等过程生成 .c

文件;

2) 对系统总电路进行设计并进行相关测试, 保障系统程序和硬件电路拓扑结构的正确性;

3) 使用 Keil  $\mu$ V5 将已经编译通过的程序下载到芯片内的同时对芯片原有程序进行 Reset;

4) 焊接电路, 并对隧道防汛监控预警系统的硬件电路进行最终测试。

系统的软件测试可以涵盖以下参数: 程序运行时间、内存占用、功耗消耗等。表 5 是对隧道防汛监测预警系统软件部分的测试参数及测试结果。

表 5 系统软件部分的测试参数

测试参数	测试结果	分析
测量精度	较高	该水位检测系统在实验中表现出准确地测量下穿式隧道口易积水地区的水位高度的能力。
响应速度	快	该水位检测系统能够在实时监测下穿式隧道水位高度并迅速反应, 发出警报以提醒人们注意隧道安全。
功耗	低	该系统采用低功耗技术, 可以长时间运行而不需要更换电池。
安装难度	低	安装该系统相对简单, 可以快速在隧道口易积水地区安装并投入使用。

从测试结果可以看出, 该水位检测系统在精度、响应速度、功耗和安装难度方面表现良好。该系统能够有效地监测下穿式隧道的水位高度, 及时发出警报以提醒人们注意隧道安全。此外, 该系统的低功耗设计可以确保系统能够长时间运行而不需要更换电池。该系统的安装也相对简单, 可以快速在隧道口易积水地区安装并投入使用。因此, 该系统提供了一种新颖有效的下穿式隧道积水检测解决方案, 并为其他类似场景中的水位监测提供了参考。

### 5.1 系统软件调试

该系统设计采用 Keil  $\mu$ V5 软件的 C 语言开发系统进行软件部分程序的编写以及调试, Keil 提供了包括 C 语言编译器、宏汇编、链接器、库管理和一个功能强大的仿真调试器等在内的完整开发方案, 通过集成开发环境  $\mu$ Vision 将这些部分组合在一起<sup>[18]</sup>。并且 C 语言在功能上、结构性、可读性、可维护性上有明显的优势, 相较于其他语言来说更容易理解。

### 5.2 系统硬件调试

硬件系统在设计之初使用 STM32CubeMX 对 STM32F103C8T6 的管脚进行配置<sup>[19]</sup>。对于发送机, 配置 SYS\_SW 烧录端口、RCC 高速时钟、USART 串口通信端口、SPI 通信端口以及定义两个 GPIO 为 Echo 和 Trig。对于接收机, 配置 SYS\_SW 烧录端口、RCC 高速时钟、SPI 通信端口并定义四个 GPIO 为 OLED12864 的时钟输入、数据输入或应答输出、数据或命令选择输入、片选。对管脚配置

完成后进行时钟配置, 单片机选用 72 MHz 外部高速时钟<sup>[20]</sup>。图 9 分别为发送机与接收机管脚定义图。

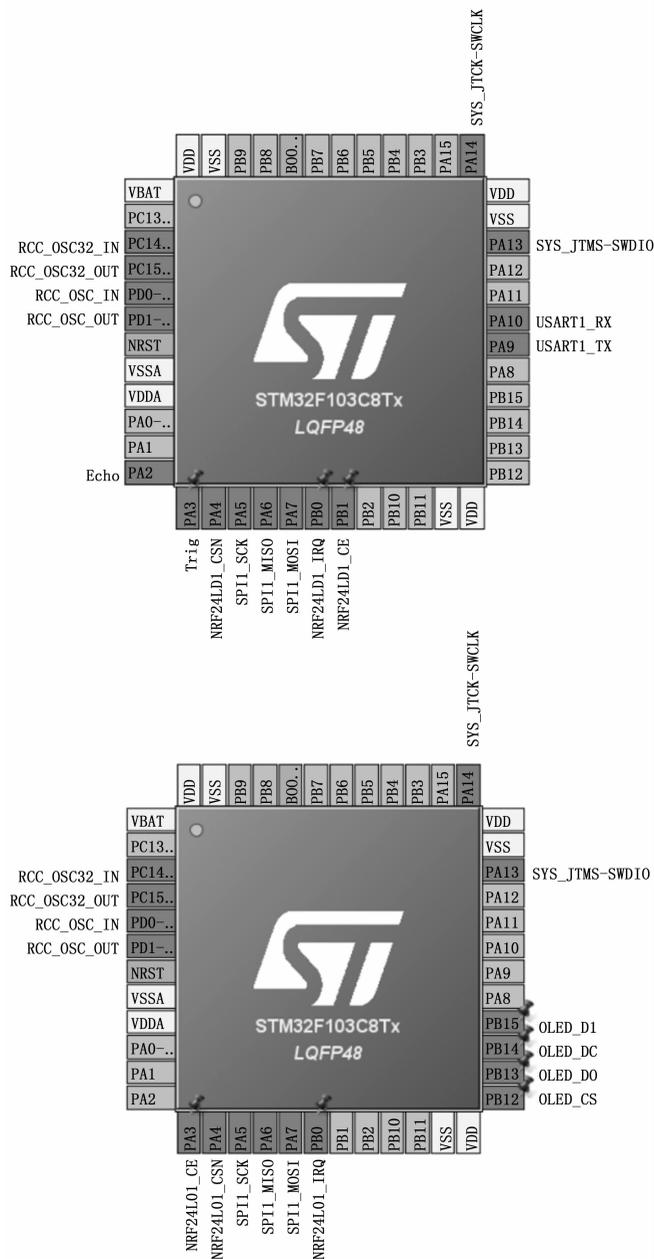


图 9 发射与接收机管脚定义图

在进行基于 STM32F103C8T6 单片机的隧道防汛监测预警系统的硬件调试时, 需要对系统的关键参数进行测试和分析, 以保证系统的稳定性和可靠性。表 6 列出了需要测试软件的关键参数及其测试方法:

在传感器测量数据的精度和灵敏度测试中, 测试结果显示传感器的测量误差小于 2.5%, 符合设计要求。在通信协议的可靠性和稳定性测试中, 测试结果显示系统在不同环境下的数据传输稳定可靠, 通信协议的纠错能力良好, 符合设计要求。在硬件电路的稳定性和可靠性测试中, 测试

表 6 系统硬件部分的测试参数

测试参数	测试方法
传感器测量数据的精度和灵敏度	使用标准物质或专业测试仪器进行校准和测试。
通信协议的可靠性和稳定性	在不同的环境下进行数据传输测试,并进行干扰测试和纠错测试。
硬件电路的稳定性和可靠性	进行电路仿真和测试,分析电路的响应时间和功耗等指标。
系统响应时间和运行效率	进行系统性能测试,分析系统的响应时间和能耗等指标。
芯片内存和存储空间的使用情况	分析程序代码和数据的内存和存储空间占用情况,进行优化和改进。

结果显示电路响应时间快,功耗低,符合设计要求。在系统响应时间和运行效率测试中,测试结果显示系统响应时间短,能耗低,运行效率高,符合设计要求。在芯片内存和存储空间的使用情况测试中,测试结果显示程序代码和数据的内存和存储空间占用率较低,有充足的空间进行优化和改进。

## 6 结束语

本文介绍了一种基于 STM32F103C8T6 的隧道防汛监控预警系统的设计。该系统可以在险情发生前发送短信至手机等,有效减少人员伤亡和财产损失。设计过程包括文献资料查阅、模块方案选择与确定、硬件电路设计与软件程序调试测试等步骤。然而,该系统还存在一些不足,比如所选用的超声波传感器只支持短距离的低精度测量,且受温度影响较大。系统采用未加功率芯片的 nRF24L01 模块无法进行远距离通信等。因此,未来可以对该系统进行改进,提高系统的测量精度和可靠性。

为了改进该系统,可以设计设值恒温系统,使装置所工作的外界环境的温度处于 25~30 °C 之间。同时,可以设置安全装置,以应对装置在使用的所产生的特殊情况。在装置中设置备用检测路线,以应对因为外界因素导致主检测路线损坏而影响正常工作。可以设置多个从机进行测量,将测量结果发送至主机,主机对测量结果求取平均值,以此提高测量精度。另外,加入 GPS 定位模块,并将数据上传至云端,从云端即可查看积水所在的具体位置。这些改进将使整套系统更加高效、便捷,具有更广泛的应用前景。

综上所述,该系统可以有效预防隧道积水等险情的发生,具有重要的应用价值。未来的改进设计将使其更加完善和可靠,为预防险情的发生提供更好的技术支持。

## 参考文献:

- [1] 薛亮. 国外针对极端降雨的防洪减灾经验 [J]. 上海人大月刊, 2021 (8): 49-50.
- [2] 逢淑松, 程凯, 刘光发. MSP430G2553 单片机超低功耗的研究与设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2013, 13 (4):

1-2, 10.

- [3] LIU Q. Intelligent water quality monitoring system based on multi-sensor data fusion technology [J]. International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI), 2021, 12 (4): 43-63.
- [4] LAN B. Intelligent waterlogging control system for urban underground garage based on internet of things [J]. World Scientific Research Journal, 2021, 7 (1): 99-104.
- [5] 李银桥, 刘裕凌, 刘学锋, 等. 基于 MSP430 单片机的数控直流稳压电源的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (12): 231-233, 236.
- [6] 刘芳芳. 新型光学编码器在大坝水位计量中的应用 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2004 (10): 1362-1364, 1368.
- [7] 秦伟, 李娟, 刘东. 在线超声波流量监测系统的设计及其应用 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (2): 32-34, 53.
- [8] 张博. 基于硅基半导体技术的 130 GHz 10 Gbit/s 无线数据传输系统芯片关键电路研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [9] 谢严乐. ZigBee 协议应用研究与实现 [D]. 广州: 广东工业大学, 2015.
- [10] 李志博. 基于 ZigBee 技术的公共实验室远程监控系统 [J]. 微型电脑应用, 2022, 38 (4): 167-170, 174.
- [11] 梁彦霞, 杨家玮. 无线通信中 Wi-Fi 技术的发展与应用 [J]. 电视技术, 2006 (7): 69-71.
- [12] 张庆法. 基于 IrDA 的串口通信设计 [J]. 微计算机信息, 2006 (33): 169-171.
- [13] 荚庆, 王代华, 张志杰. 基于 nRF24L01 的无线数据传输系统 [J]. 现代电子技术, 2008 (7): 68-70, 82.
- [14] JIANG X R, LV Y M, CHENG X H. Design of wireless communication system based on nRF24L01 [C] //Advanced Materials Research, Trans Tech Publications Ltd, 2014, 945: 1756-1759.
- [15] 侯洪莉, 付东旭, 杨晓玲, 等. 基于 SIM800C 的短信投送系统的设计与实现 [J]. 电脑知识与技术, 2021, 17 (2): 42-44.
- [16] JI Z, BIN R. Weather monitoring system based on STM32 and OneNet internet of things platform [C] //Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2021, 1820 (1): 012150.
- [17] 谢启杰, 魏伟锐, 陈春丽, 等. 基于 GIS 的震裂坡地降雨量监测预警系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (6): 42-46.
- [18] WANG Y, WU C, ZHANG X, et al. An embedded wireless transmission system based on the extended user datagram protocol (EUDP) [C] //2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication, IEEE, 2010, 3: 690-693.
- [19] 韩爽, 张迪. 基于 STC89C51 单片机的防盗报警系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (11): 270-274.
- [20] 龙祖连. 基于 STM32CubeMX 图形化编程教学改革的研究 [J]. 电子制作, 2021 (10): 47-49.