

地下综合管廊井盖检测报警系统设计

李超超, 魏 春, 张远东, 王昌龙

(扬州大学 机械工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: 基于 STC89C58RD+ 单片机, 设计了一种地下综合管廊井盖报警系统; 该系统采用 nRF24L01 无线通信和 RS-485 通信方式, 通过主机设定并发送指定从机授权码, 工作人员用遥控器向指定从机井盖发送相应授权码, 则该从机井盖可以被合法打开; 如果从机井盖被非法打开, 井盖打开时触发行程开关, 产生报警信号并发送到主机, 主机显示被非法打开井盖编号, 此时工作人员便可采取相应措施; 试验测试结果表明: 系统响应速度快, 传输距离远, 传输信号稳定, 操作简单, 安全性能高。

关键词: 井盖; 报警系统; 授权码; 非法打开

Detection and Alarm System Design for Underground Comprehensive Gallery Cover

Li Chaochao, Wei Chun, Zhang Yuandong, Wang Changlong

(School of Mechanic Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: A detection and alarm system based on MCU (STC89C58RD+) for underground comprehensive gallery cover is designed. The system adopts nRF24L01 wireless communication and RS-485 communication, use the master set up the authorization code, then send the authorization code to the appoint slave, use remote controller to send accordingly authorization code to the appoint slave, the slave covers can be legally opened; if the slave cover be illegal opened, it will trigger the travel switch, and produce an alarm signal and send it to the master, the master shows the number of illegal opened slave cover. Then the staff could take appropriate measures. The test results show that the response speed of the system is fast, transmission distance, transmission signal stabilization, simple operation and high safety performance.

Keywords: cover; alarm system; authorization code; illegal open

0 引言

随着城市的发展, 各种通信、供电、供水、供气网路越来越复杂, 为了便于管理, 节约地上空间, 这些网路一般都布置在地下综合管廊中, 那么井盖产生的安全隐患如井盖被盗、通过井盖入口盗取管廊内的电线电缆等等, 所以地下综合管廊的井盖安全就显得极其重要。李志、徐文青等分别提出了基于 Zigbee 无线网络的智能安全井盖监控系统, 实现了对井盖的实时监测、精确定位、自动报警^[1-2]。王悦提出了基于综合信息的一次编码, 对井盖的位置及类型信息进行规整, 基于百度地图对井盖位置状态监测, 实现井盖与地图的匹配、井盖移动轨迹显示及移动范围设定, 实现越界报警^[3]。还有采用 Microsoft Silverlight 和 GIS 技术相结合, Rational 统一过程 (RUP) 为软件开发方法^[4-5], 无线检测等方法对井盖实行检测、报警^[6-8]。本文对井盖报警系统采用 nRF24L01^[9] 无线通信和 RS-485^[10] 通信方式, 通过发送授权码打开从机井盖, 并通过单片机

实时检测从机井盖的行程开关信号, 达到对井盖的检测、报警和打开的功能。

1 工作原理

整个井盖检测报警系统包括置于中心控制室的主机控制盒、安装在井盖上的从机控制盒以及无线遥控器。系统工作过程如下: 当需要打开井盖时, 主机控制盒 (如图 1) 通过 nRF24L01 无线模块或 RS-485 将 6 位从机地址编号和 2 位动态密码发送给从机控制盒 (如图 2), nRF24L01 无线通信和 RS-485 通信方式传输距离分别可达到 1 km 和 1.2 km, 而城市井盖间的距离大约 50 m, 从而可以保证通信的安全高效稳定, 从机控制盒接收动态密码, 并在从机数码管的后两位显示; 工作人员在无线遥控器上设定从机控制盒上的 8 位授权码, 并发送给从机控制盒; 从机控制盒接收无线遥控器 (如图 3) 发来的信号, 并通过 STC89C58RD+ 单片机程序控制打开井盖上的电磁铁, 最后工作人员便可安全打开井盖; 此时, 井盖属于正常打开, 从机控制盒将地址编号通过 nRF24L01 无线模块或 RS-485 反馈给主机控制盒, 这时主机控制盒上会显示被打开的井盖的地址编号, 并亮绿灯。当井盖被非法途径被打开时, 会触发井盖上的行程开关, 从机控制盒会立即产生报警信号并将该从机地址编号通过前一编号的从机反馈给主机控制盒, 主机控制盒上会显示被非法打开井盖的地址编号,

收稿日期: 2018-10-27; 修回日期: 2018-12-20。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (21375116)。

作者简介: 李超超 (1992-), 男, 安徽省芜湖人, 硕士研究生, 主要从事计算机控制和图像处理方向的研究。

王昌龙 (1963-), 男, 江苏省扬州人, 博士, 教授, 主要从事测控技术和传感器方向的研究。

亮红灯并触发蜂鸣器报警。整个系统最主要的是通信, 正常授权、反馈以及报警检测都是通过 nRF24L01 无线模块和 RS-485 双回路完成井盖之间, 井盖与主机之间的通信。

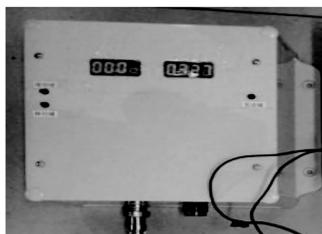


图 1 主机控制盒

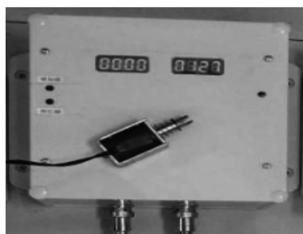


图 2 从机控制盒



图 3 遥控器

另外, 系统还采用短信报警检测功能。每个从机都装有短信模块, 可以接收并发送短信, 工作人员可以通过指定手机向从机发送从机编号便可打开该编号井盖; 当从机井盖被非法打开时, 该从机上的短信模块会发送报警短信给指定手机, 手机短信模块功能的使用方便了工作人员随时接收从机井盖报警状态并采取相应措施。

2 硬件及软件设计

2.1 电路设计

图 4 为地下综合管廊井盖检测报警系统主要硬件电路图。

主控芯片是 STC89C58RD+ 单片机, 该款单片机具有内存容量大、超强抗干扰、高速、低功耗等优点, 其指令代码与传统的 8051 单片机完全兼容, 但速度是 8051 单片机的 8~12 倍, 能够实时接收主机、从机或者遥控器发出的信号, 超强抗干扰能力和大容量内存可保证系统持续长时间工作。数码管配合 ULN2003 驱动模块和三极管电路完成显示工作, 其中引脚接三极管电路的 S4-2, 由三极管电路控制。无线通信电路和有线通信电路是通过各自的 nRF24L01 无线模块和 RS-485 实现从机与主机以及从机之间的通信, 能提高系统的稳定

性。遥控器内部配有 nRF24L01 无线模块实现遥控器与从机的通信, 经测试, 该模块通信响应速度快, 传输速率可达 8 Mbps, 稳定可靠, 而且此模块发射模式下发射功率为 0 dBm 时电流消耗为 11.3 mA, 接收模式时为 12.3 mA, 掉电模式和待机模式下电流消耗更低, 具有低功耗的优点, 降低了本系统的主要功耗。报警状态响应的外部特征之一就是发出报警声音, 由此设计了三极管蜂鸣器电路。若使用单片机内部晶振, 可能会导致时序的不稳定, 因此设计的外部晶振电路, 保证了在主机、从机和遥控器之间通信时有一个稳定的波特率, 提高整个系统通信的稳定性。

2.2 硬件设计

2.2.1 无线通信模块

此系统的无线通信硬件选择了 nRF24L01 模块, 用于从机向主机发送报警信号、主机向从机发送授权码以及遥控器向从机发送的动态密码, 该模块是用 ISM 频段接收发送信号的通信芯片, 工作频率为 2.4~2.5 GHz, 通用性高, 适合大多数控制系统的信号接收发送无线通信方式。nRF24L01 通信模块的无线接收方式是通过 SPI 接口进行调试设置的, 设置内容包括: 信号功率放大器、频率发生器、调制调节器、晶体放大器、信号控制器、输出功率和工作频道的选择以及相应的工作协议。在使用过程中, nRF24L01 无线通信模块

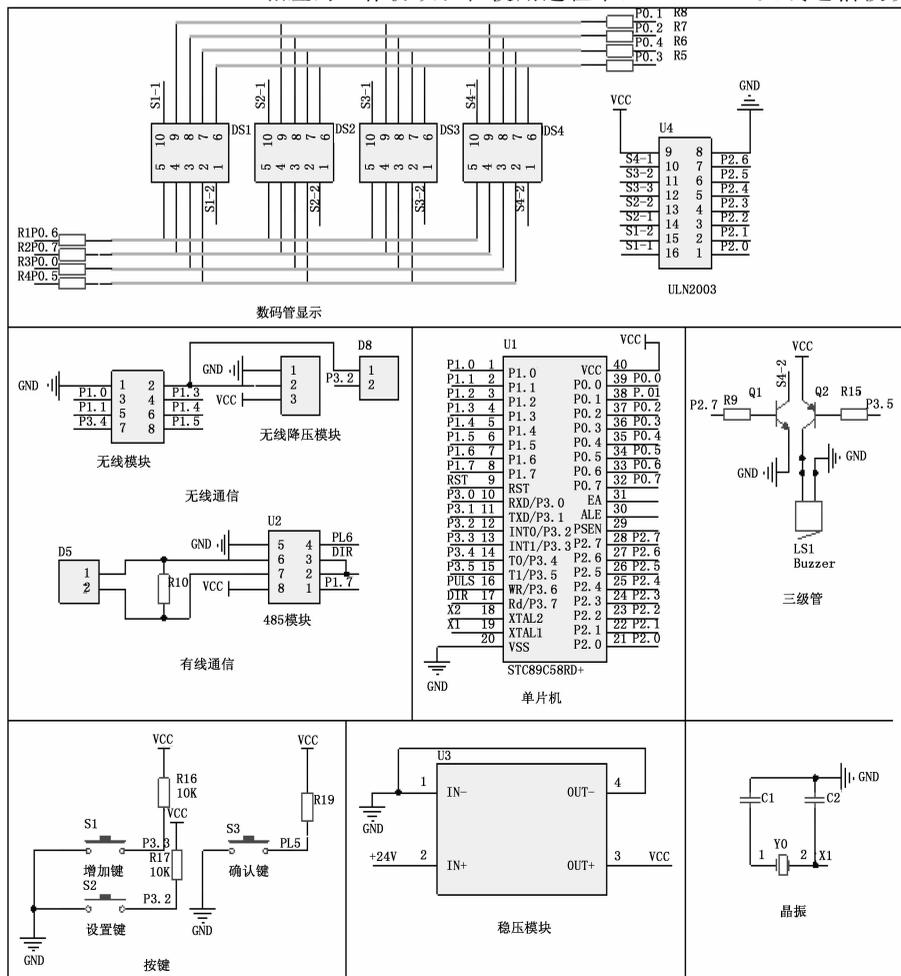


图 4 控制系统主要硬件电路图

的工作电流极低，当工作模式为发射时，模块的发射功率为 -6 dBm，相应的工作电流为 11 mA；当工作模式为接收时，工作电流为 12.5 mA；当无线模块既不发送也不接收，处于掉电模式时或待机模式时的工作电流更低，仅为 900 nA；极低的工作电流保证了 nRF24L01 无线通信模块可以在长时间工作环境中正常工作。当无线通信模块 nRF24L01 在通过 SPI 接口工作时，工作节点可以通过自动组网的方式与主控芯片进行无线数据的接收和发送。

2.2.2 数码管显示

本控制系统主机和从机的显示部分采用数码管显示，主机和从机系统的数码管显示包括数码管、数码管驱动芯片 ULN2003、PNP 三极管以及阻值为 300 Ω 和 5 KΩ 的电阻。数码管显示需要段码和位码组合控制要显示的内容，主控芯片单片机 P0 位用于输出段码信号，单片机的 P2 位用于输出位码信号。段码表示的是数码管 8 位中哪一段显示高亮，例如数码管显示的 1, 2, 3 等；位码控制的是哪一个数码管显示（本系统有 8 个数码管显示）。本系统从机数码管设定的工作方式分为两种，前 6 个数码管显示的编号表示将要某一井盖控制的井盖编号，最后 2 个数码管显示的内容是打开此从机需要的动态密码，及授权码。

2.2.3 电源模块

本系统电源设计要满足主控芯片单片机和无线通信模块 nRF24L01 的供电需求，其中主控芯片所需工作电压为 5 V，无线通信模块 nRF24L01 不同于一般的元器件，需要的工作电压为 3.3 V，其他元器件所需电压均为 5 V。主机和从机控制电路板都有无线通信模块，电路板的输入电源由稳压电源提供，电压为 24 V，原始 24 V 电源通过电压转换模块将为 5 V 电压电源，为控制芯片供电，另外将一路 5 V 电源通过电压转换模块 DC-DC 降为 3.3 V 电源给无线通信模块供电。同样，遥控器控制电路板也有无线通信模块，电源部分的设计和主机从机控制电路板相同，将 24 V 电源降为 5 V 和 3.3 V 为主控芯片和无线通信模块供电。

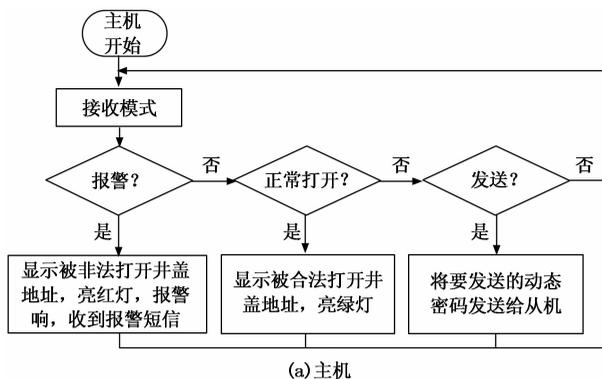
2.3 软件设计

图 5 是井盖检测报警系统主机和从机流程图。

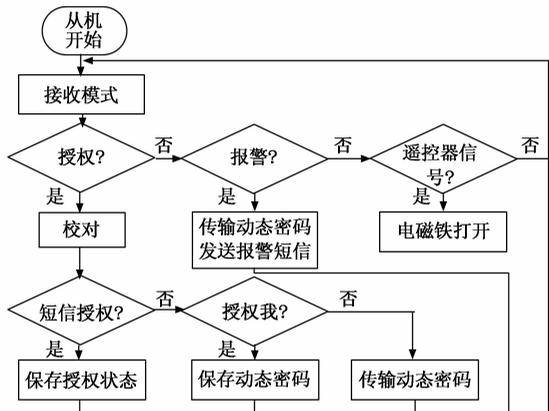
如图 5 (a) 所示主机的工作流程，主机在中心控制室一直处于接收模式，即检测状态，检测从机井盖是否被非法破坏，在整个系统中大部分时间都处于这种检测状态，由于是有线和无线双回路通信方式，检测功能非常稳定，并且由于模块的特性，检测时功耗极低，节能环保。主机另一个重要功能即主动发送授权码给从机，从而可以合法打开井盖。在程序中设计这一中断，程序从检测状态到主动发送授权码命令再回到检测状态，程序条理清晰，可以及时准确响应这一中断并返回检测状态。

如图 5 (b) 所示从机的工作流程，和主机一样从机处于检测状态，即检测井盖上行程开关信号。从机工作流程与主机是相辅相成，配合使用的，通信系统

即是二者联系的重要桥梁。不同于主机的是从机配有短信模块，这使得从机在此模块工作状态下通信数据只有单向通信，例如使用手机短信控制正常打开井盖时，从机接收到的信号并不是主机传送的，而是短信信号，但将状态反馈给主机仍是通过双通信方式。



(a) 主机



(b) 从机

图 5 程序流程图

整个系统的流程如图 6 所示，如上述，主机和从机处于检测状态，即本系统检测报警功能之一，主机和从机的

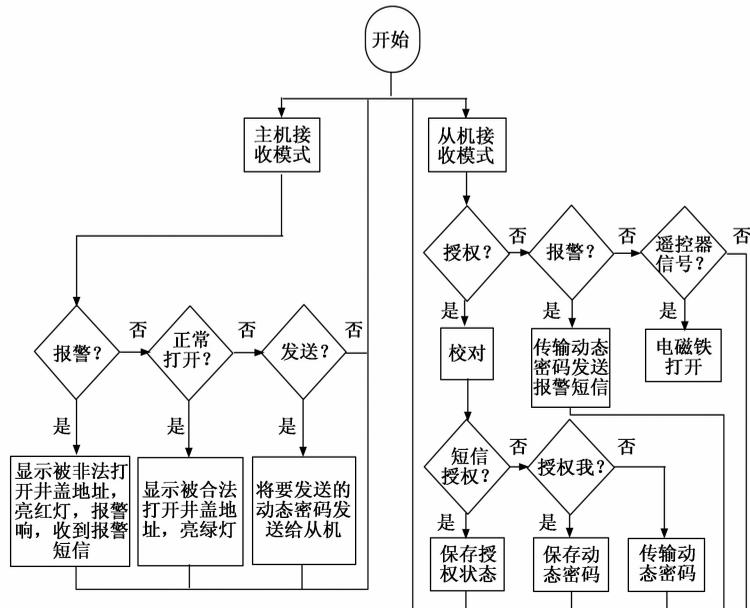


图 6 系统程序流程图

工作过程相辅相成, 二者不能分离, 是一个整体, 为对方服务。由此组成的系统最重要的是各部分之间的通信, 双回路通信配合短信通信使得系统检测和报警功能稳定、快速以及准确。

下面着重介绍该系统软件设计中中断函数程序设计和主机软件程序中 nRF24L01 无线通信的软件程序设计。

主机和从机系统的中断函数程序设计, 主控制芯片单片机定时器 0 中断服务于 8 个数码管的显示, 设计 50 ms 中断一次并刷新数码管, 保证了数码管持续高亮, 通过人眼感受不到数码管亮度的跳动。编写该中断程序时, 定时器 0 每次循环需要重装初值, 采用的晶振频率为 11.059 2 MHz, 代码为 TH0=0xFC; TL0=0x02; 中断程序过后即调用数码管显示子程序, 显示数码管内容。主控制芯片的外部中断 0 服务于数码管的按键调节, 当按下数码管换位键时, 第一位数码管数字开始跳动, 准备更改此位数码管的内容, 当再次按下数码管换位键时, 第二位数码管数字开始跳动, 其他位数码管保持高亮状态, 第二位数码管内容准备更改, 以此类推可以确定某位数码管内容需要被更改, 程序代码调用函数为 void Int0ISR (void) interrupt 0。主控制芯片外部中断 1 服务于数码管增加减少按键的调节, 当确认到第一位数码管内容需要被更改时, 按下数码管增加键或者减少键该位数码管的数字相应的增加或者减少, 数字变化的范围为 0-9, 无限循环, 程序代码调用函数为 void Int1ISR (void) interrupt 2。数码管换位键和数码管增加减少键配合工作就可以设定数码管内容, 及从机编号和动态密码等, 其中断是通过单片机的外部中断 0 和外部中断 1 实现的。

主机程序中无线通信 nRF24L01 模块子程序的设计需要满足其特定的条件, 无线通信模块 nRF24L01 的工作模式灵活多样, 配置寄存器的改变会影响到无线通信模块的工作模式, 另外某些引脚和 FIFO 缓冲器的状态也会影响其工作模式。但是当 FIFO 缓冲器不论出于何种状态时, PWR_UP 和 PRIM_RX 寄存器值为 1 且 CE 引脚状态为高电平时, 无线通信模块 nRF24L01 的射频收发芯片处于接收模式, 时刻接收周围的无线信号, 接收状态也是无线通信模块最主要的工作模式。在发送模式下, 根据主机系统的需求, 通过无线通信模块 nRF24L01 将 8 位授权码发送给从机, 8 位授权码中前六位是从机编号, 表示的是目标地址, 后两位是动态密码。在程序中将 0Xcc 作为发送的帧头, 加上目标地址以及动态密码存入发送缓冲区 Tx_Buf, 再将指令发送到从机的接收缓冲区 Rx_Buf。

3 结果与讨论

为了验证所设计的井盖检测报警系统的性能, 进行了如下试验: 准备一个主机和三个从机, 模拟实际情况将它们分隔 10 m 布置, 接线并通电, 按上述原理及工作流程, 测试主机发送授权码功能, 从机随即响应, 遥控器发送动态密码, 行程开关 (即井盖) 正常打开, 更换从机产生对比, 动态密码随机更改, 试验时每台从机动态密码为 27,

35, 68, 每台从机试验次数为 10 次, 记录每次结果, 成功率为 100%; 同理, 测试通过手机短信打开从机行程开关以及测试从机被非法打开, 进行相应试验并记录, 成功率均为 100%。

除了测试系统的可行性, 还对无线通信系统进行了通信距离实验, 将无线通讯模块 nRF24L01 在空旷操场进行等距离布置, 通过实验数据可得到无线通讯模块最远可接受信号距离为 70 m; 将无线通讯模块 nRF24L01 布置在建筑物之间时, 建筑物的阻碍使得无线通讯模块接收距离明显缩短, 此时最优的接收距离为 20 m。具体实验数据如表 1 所示。

表 1 nRF24L01 在不同距离下通信的丢包情况

距离 条件 丢包数	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m
	空旷地	0	1	1	3	6	10
有建筑物	0	2	4	6	—	—	—

由实验结果可知该系统在特定距离下通信时速度快并且非常稳定, 在双回路通信并配合短信通信方式下, 系统的检测、报警及反馈功能可以可靠的实现, 可以有效的对城市地下综合管廊井盖进行监控, 从而保证了城市地下管廊的安全, 保护了人民的生命财产安全。但是也存在着不足, RS485 通信虽然传输距离远, 速度快, 但其通信需要线路支撑, 线路的连接使整个系统复杂化, 存在较多隐患, 之后的改进中在保证检测报警功能的前提下逐步淘汰有线通信方式, 完全使用无线通信, 主要从系统方案和程序中优化, 使检测报警系统更加智能化, 现代化。

由于系统设计还不够全面, 本系统只实现了通讯的基本功能, 外部环境对系统的影响还很大, 需要不断完善系统的稳定性和抗干扰性, 例如在实际情况中, 需要研究道路井盖被汽车碾压振动对从机的影响。此系统在工作时需要专业人员看护, 浪费了人工, 在以后的改进中需要添加手机 APP 控制, 简化操作; 另外还需结合实际情况, 研究道路井盖被汽车碾压振动对从机的影响。

参考文献:

- [1] 魏春. 地下综合管廊井盖的安全监控系统设计 [D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- [2] 李志, 裴军芳. 一种基于 Zigbee 的分布式井盖监控系统 [J]. 科技通报, 2015, 31 (3): 170-173.
- [3] 徐文青, 解兆延, 门兴, 等. 基于 ZigBee 与非接触供电的井盖防盗技术及应用 [J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8 (11): 173-177.
- [4] 王悦. 基于 LabWindows_CVI 的管井盖远程管理监测平台设计 [D]. 太原: 中北大学, 2017.
- [5] 孙健. 通信井盖无线监测系统的设计与实现 [D]. 北京: 北京工业大学, 2015.