

文章编号:1671-251X(2013)12-0013-05 DOI:

刘江霞,武强,范宝德.基于 ZigBee 的智能瓦斯报警矿灯设计[J].工矿自动化,2013,39(12):13-17.

基于 ZigBee 的智能瓦斯报警矿灯设计

刘江霞^{1,2}, 武强², 范宝德³

(1. 烟台大学 工程实训中心, 山东 烟台 264005; 2. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 3. 烟台大学 计算机学院, 山东 烟台 264005)

摘要:针对传统瓦斯检测方法只是对矿井某些重点位置进行不间断监测的问题,设计了一种基于 ZigBee 的智能瓦斯报警矿灯。该矿灯作为 ZigBee 网络中的移动节点,采用 LED 光源、锂电池供电,具有瓦斯检测、无线定位、ZigBee 通信、充电管理及保护等功能。测试结果表明,该矿灯的实际参数和通信功能均满足设计要求,可实现煤矿井下瓦斯检测的全方位覆盖。

关键词:煤矿物联网; 瓦斯检测; 矿灯; ZigBee; 锂电池; 智能

中图分类号:TD712.72 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Design of an intelligent miner lamp with gas alarming based on ZigBee

LIU Jiang-xia^{1,2}, WU Qiang², FAN Bao-de³

(1. Engineering Training Center, Yantai University, Yantai 264005, China;
2. School of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 3. School of Computer Science, Yantai University, Yantai 264005, China)

Abstract: In view of problem that traditional gas detecting methods only continuously monitor some key positions of mine, an intelligent miner lamp with gas alarming based on ZigBee was designed. The miner lamp is taken as a mobile node of ZigBee network, uses LED as illuminant and lithium battery as power supply, which has functions of gas detection, wireless positioning, ZigBee communication, charge management and protection. Test results show that actual parameters and communication function of the miner lamp meet design requirements and can realize omnidirectional coverage for underground gas detection.

Key words: mine Internet of Things; gas detection; miner lamp; ZigBee; lithium battery; intelligence

0 引言

煤矿瓦斯监测通常是对矿井某些重点位置进行不间断监测^[1],存在安装位置固定、数据传输需要有线方式、检测范围小、传感器数量少、传感器校准困难等问题^[2-3],其他位置则由瓦检员定时定点检测,从而产生了一个个“信息孤岛”^[4]。这些孤立点的检测仅仅获取了很小范围内瓦斯体积分数的情况,

很难将瓦斯体积分数监测结果进行同步分析,更无法实现瓦斯体积分数预测功能^[5]。随着物联网技术的发展,基于 ZigBee 的无线感知网络逐渐应用到煤矿中^[6-7],成为矿井物联网重要的“神经末端”。

1 矿井感知网络结构设计

基于 ZigBee 的矿井感知网络结构如图 1 所示。感知网络包括 ZigBee 信号采集网络和 CAN 总线网

收稿日期:2013-08-02。

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2011FM029)。

作者简介:刘江霞(1980—),女,山东招远人,实验师,博士研究生,主要研究方向为物联网在煤矿中的应用及瓦斯预测,E-mail:gqljx1234@126.com。

络2个部分。ZigBee信号采集网络由移动节点(MN)、基站节点(BS)和汇聚节点组成,负责信号采集及ZigBee无线数据传输功能。其中移动节点设计为精简功能设备,基站节点和汇聚节点设计为全功能设备,汇聚节点作为网络协调器管理ZigBee子网,移动节点只能与全功能设备通信,移动节点之间不能直接通信。汇聚节点设计有CAN总线接口,采用CAN总线方式连接各个ZigBee子网,并通过矿用交换机连接到矿井光纤环网中。

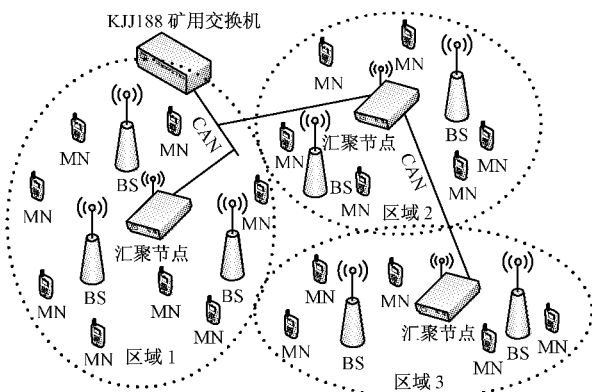


图1 基于 ZigBee 的矿井感知网络结构

为了能够将检测网络延伸到矿井各个位置,移动节点最好能够跟随矿工在矿井中任意移动。因此,本文设计了一款具有瓦斯检测报警功能的锂电池LED矿灯。该矿灯具有智能充电管理、人员考勤、人员定位、瓦斯检测、矿灯监控等功能。

2 智能瓦斯报警矿灯硬件设计

智能瓦斯报警矿灯的MCU采用第二代ZigBee片上系统CC2530F256,包括天线及电源管理、锂电池充放电管理及保护、LED灯控制、瓦斯校准及检测、安全报警、定位检测、ZigBee数据传输等部分,如图2所示。该矿灯设计有锂电池充电和放电的过流、过压、温度实时保护,消除了锂电池爆炸的可能性,提高了矿灯的可靠性。

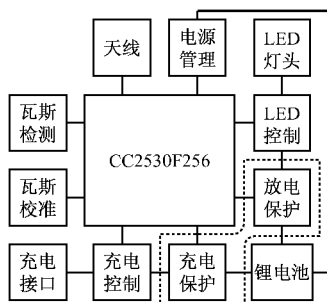


图2 智能瓦斯报警矿灯硬件组成

2.1 矿灯主要技术参数

智能瓦斯报警矿灯采用3.7 V/4.5 A·h的锂电池供电,使用LED光源,设计成主、副灯独立控制方式。矿灯主要电气参数见表1,其点灯时间、亮度等参数均满足GB 7957—2003《矿灯安全性能通用要求》、MT 927—2004《KL型矿灯》和企业标准Q/DXD 006—2009《KL型矿灯》的具体要求。

表1 矿灯主要电气参数

电池额定电压/V	3.7
电池额定容量/(A·h)	4.5
LED额定电流(主/副灯)/A	0.306/0.119
LED点灯时间(主/副灯)/h	14.7/37.8
主光源最大照度(开始)/(lx·m ⁻¹)	≥1 000
主光源最大照度(11 h后)/(lx·m ⁻¹)	≥700
整体质量/g	200

2.2 天线及电源管理电路

天线及电源管理电路如图3所示。

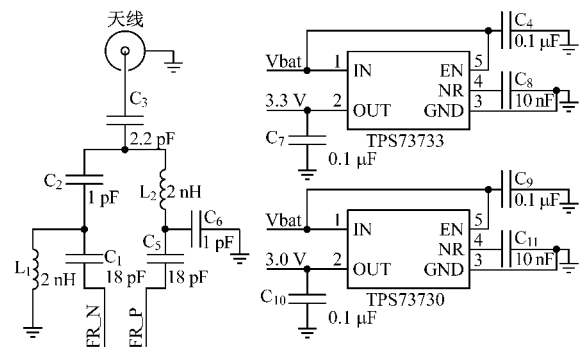


图3 天线及电源管理电路

锂电池电压范围为3.5~4.2 V,电路中的各种芯片均为3.3 V供电,瓦斯传感器采用3 V供电,电源管理电路最低仅有200 mV的输入输出压降,因此,选用具有低压差(130 mV)的TPS73733产生3.3 V电压为芯片供电,选用TPS73730产生3 V电压为瓦斯传感器供电。

2.3 锂电池充电管理及保护电路

锂电池充电管理及保护电路包括锂电池充电控制电路和充放电保护电路2个部分,如图4所示。该电路实现了矿灯充电过程的自动监控和智能充放电信息管理功能。

BQ24278的充电电流设定:通过ILIM引脚的150 Ω下拉电阻的最大充电电流为1.67 A,通过ISET引脚的400 Ω下拉电阻的快速充电电流为1.25 A。CC2530F256的P14引脚通过BQ24278的PG引脚检测是否有充电电源接入;使用CC2530F256的P15和P13引脚读取BQ24278的

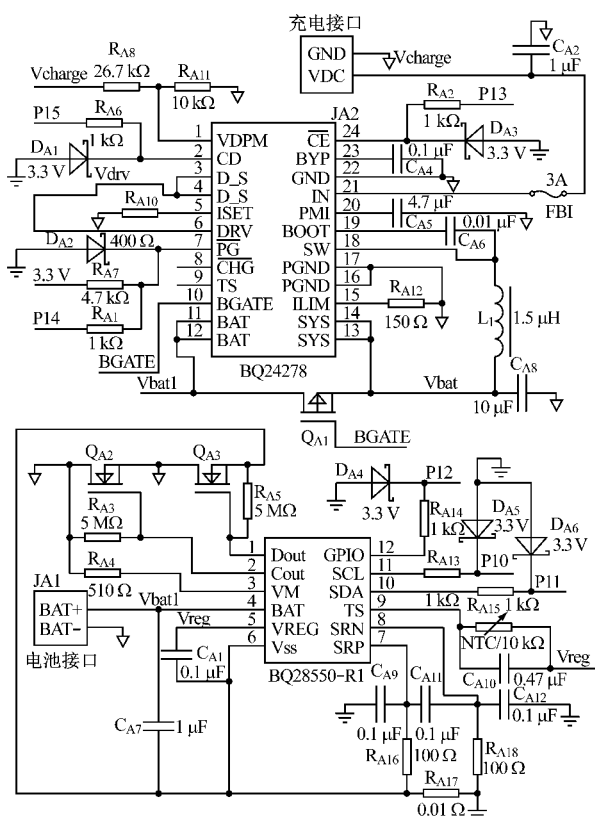


图 4 锂电池充电管理及保护电路

状态信息。充电过程中, BQ24278 的 BGATE 引脚为高电平, 其电源路径管理功能保证了在电池充电的同时, 通过内部的 N 沟道 MOSFET, 从内部的 DC/DC 转换器为控制检测系统保持稳定的供电; 充电结束或矿灯使用中 BGATE 引脚为低电平, 控制外接的 P 沟道 MOSFET 的栅极为矿灯供电。

电池充放电的保护是通过 BQ28550-R1 的 Cout 和 Dout 引脚分别控制 N 沟道的 MOSFET Q_{A2} 和 Q_{A3} 实现的。当充电时出现过压或过流现象时, Cout 引脚变为低电平, 使 Q_{A2} 关断而中断充电回路; 当电池发生短路、放电过流、放电欠压时, Dout 引脚变为低电平, 使 Q_{A3} 关断而中断放电回路。BQ28550-R1 的 TS 引脚连接负温度系数的热敏电阻 NTC, 实时监测电池温度, 实现温度保护功能。当出现充电过热时, BQ28550-R1 的控制状态寄存器的 CHG 位被置位; 当出现放电过热时, DSGOFFREQ 位被置位。CC2530F256 通过 P10 和 P11 引脚, 采用 I²C 方式与 BQ28550-R1 通信, 来接收充放电信息。

2.4 LED 驱动及控制电路

LED 驱动电路如图 5 所示。LED 的驱动电流可通过改变 LM3410 的 DIM 引脚的 PWM 占空比来控制。PWM 的频率范围为 200~1 000 Hz, 占空

比可以从 0~100% 变化。占空比为 0 时, 流过 LED 的电流为 μA 级, LED 熄灭; 占空比为 100% 时, 为最大驱动电流, LED 最亮。

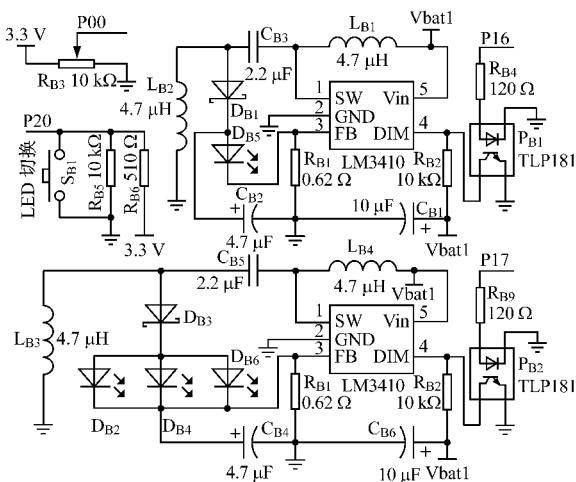


图 5 LED 驱动电路

主灯使用一个 1 W 的高亮 LED(D_{B5}), 接到 LM3410 的 FB 引脚上的反馈电阻大小为 $0.62\ \Omega$ (精度为 1%), 设定最大驱动电流为 $190\text{ mV}/0.62\ \Omega \approx 306\text{ mA}$ 。副灯使用 3 个 0.18 W 的 LED(D_{B2}, D_{B4}, D_{B6}), 采用并联连接方式, 如果其中一个发生故障, 不影响其他的 LED 正常工作, 接到 LM3410 的 FB 引脚上的反馈电阻大小为 $1.6\ \Omega$ (精度为 1%), 设定最大驱动电流为 $190\text{ mV}/1.6\ \Omega \approx 119\text{ mA}$ 。采用旋钮电阻调节灯头亮度, 由 CC2530F256 的 AD 引脚 P00 采集旋钮电阻中间抽头的分压值, 来控制 CC2530F256 的 P16 和 P17 引脚输出的 PWM 信号占空比, 从而控制 LED 的亮度。采用按键切换主、副灯, CC2530F256 的 P20 引脚检测按键状态, 通过软件控制 P16 和 P17 引脚输出的 PWM 信号的有效性来控制 LED 的切换, 可以切换为主灯亮、副灯亮、两者同时亮或两者同时灭。为了完成电平转换, P16 和 P17 引脚输出的 PWM 信号通过光耦控制 LM3410 的 DIM 引脚的 PWM 信号。

2.5 瓦斯传感器及校准电路

智能瓦斯报警矿灯采用催化燃烧型瓦斯传感器 MJC4/3.0L 检测瓦斯体积分数,采用按键方式对瓦斯传感器进行校准,瓦斯检测及校准电路如图 6 所示。催化燃烧型瓦斯传感器又称为黑白元件,黑元件电阻随瓦斯体积分数的变化而变化,从而使电桥电压发生变化,电桥输出电压通过仪表放大器 AD620 放大后由 CC2530F256 的 AD 引脚 P01 采集。当瓦斯体积分数超过 1% 时,控制灯头闪烁报警。该电路设计有瓦斯传感器校准按键,通过

CC2530F256 的 P21 引脚检测按键状态,当按键按下后开始校准,松开后校准结束。采用一键式校准,减少了校准工作量,提高了校准精度。

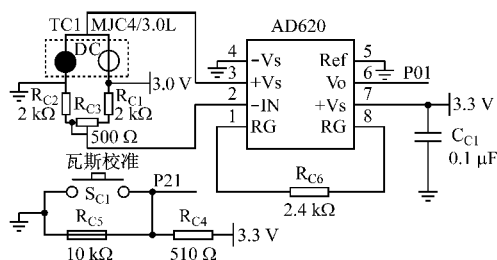


图 6 瓦斯检测及校准电路

3 智能瓦斯报警矿灯软件设计

智能瓦斯报警矿灯软件部分用于实现瓦斯检测及校准、充电检测及控制、LED 驱动、ZigBee 通信、基于 RSSI(Received Signal Strength Indication, 接收信号指示强度)的定位等功能,其流程如图 7 所示。

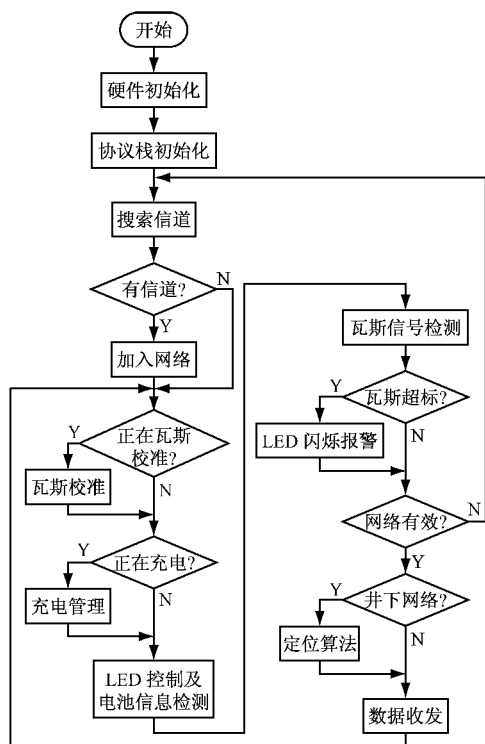


图 7 智能瓦斯报警矿灯软件流程

系统上电后执行软硬件初始化及可用网络搜索,如果检测到可用网络,则执行 ZigBee 网络加入程序;如果没有检测到可用网络,也要完成智能瓦斯报警矿灯的基本功能。智能瓦斯报警矿灯的基本功能:根据 CC2530F256 的 P21 引脚检测的瓦斯校准按键的状态判断矿灯是否正在进行瓦斯校准,如果是则进入瓦斯校准子程序,在瓦斯校准按键按下的时间里对瓦斯体积分数进行多次测量(校准气样瓦

斯体积分数为 1%),将测量结果的平均值作为 1% 瓦斯体积分数的参考值。根据 CC2530F256 的 P14 引脚的状态判断矿灯是否正在充电,如果是则执行充电监控子程序,采集充电过程中的参数,并自动控制充电过程。根据 CC2530F256 的 P20 引脚检测 LED 切换按键的状态,通过是否使能 CC2530F256 的 P16 和 P17 引脚输出的 PWM 信号来控制 LED 的状态。然后执行瓦斯检测及判断程序,如果瓦斯体积分数的检测值高于 1% 瓦斯体积分数的参考值,则要通过控制 CC2530F256 的 P16 和 P17 引脚输出的 PWM 信号的占空比实现 LED 灯的闪烁报警(在该子程序中,LED 切换按键的状态被屏蔽)。如果在这之前该矿灯没有加入 ZigBee 网络或者网络已经无效,则程序重新转到网络搜索子程序。如果当前已经加入到网络并且根据网络 ID 判断是井下网络,则要执行基于 RSSI 的定位算法;如果是充电室的充电管理网络,则不执行定位算法。最后,矿灯将检测到的瓦斯体积分数、充放电信息、电池信息、定位信息等信号通过 ZigBee 数据包的方式发送给基站节点或汇聚节点。

4 智能瓦斯报警矿灯的功能测试

为了验证智能瓦斯报警矿灯的性能,对该矿灯的点灯时间和无线信号的 RSSI 值进行了测试。

在点灯时间的测试中,分别在主灯和副灯单独点亮的情况下,每隔 1 h 测量电池两端电压和回路电流。电池充电后电压为 4.22 V,当电压降低到 3.5 V 停止测试。测试结果如下:主灯点灯时间为 13 h,平均电流为 296 mA;副灯点灯时间为 33 h,平均电流为 107 mA。表明该矿灯点灯时间满足要求。

在无线信号的 RSSI 值测试中,测试了收发节点间距与 RSSI 之间的对应关系。采用 1 个矿灯节点和 1 个基站节点,选择多个固定间距进行多次测试。在每一个位置分别采集 5 000 个数据并获取数据的 RSSI 值,得到的每一个位置 RSSI 值的最大值、最小值、均值如图 8 所示。在通信过程中没有出现数据丢失情况,收发节点在 140 m 内通信情况比较可靠,可以实现瓦斯等数据的无线传输功能。

5 结语

分析了基于 ZigBee 的矿井感知网络结构,介绍了智能瓦斯报警矿灯的软硬件设计,重点研究了锂电池充放电保护电路、LED 灯恒流驱动电路的设计及参数选择。智能瓦斯报警矿灯具有瓦斯检测和

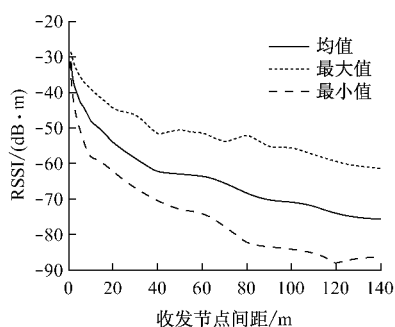


图8 收发节点间距与 RSSI 之间的关系

ZigBee 无线通信功能,采用 LED 光源、锂电池供电,降低了矿灯的体积;将锂电池充电电路设计到矿灯内部,实现了对充放电过程的实时监测及保护,避免了因短路而出现电池爆炸的问题。测试结果验证了该矿灯的可行性。该矿灯可实现煤矿井下全方位覆盖的瓦斯检测及人员定位功能,为煤矿瓦斯预测研究提供了丰富的具有位置信息的瓦斯样本数据。

参考文献:

- [1] 刘玉珍,程政,蒋靖. 基于 ZigBee 的井下巷道瓦斯监测系统[J]. 仪表技术与传感器,2012(9):49-51.
- [2] 范雪,熊伟丽,徐保国. 基于 WSN 的井下瓦斯检测系统的设计[J]. 煤矿安全,2011,42(9):75-77.
- [3] 秦宪礼,刘新蕾,沈斌,等. 采掘作业面无线瓦斯监测系统研究[J]. 矿山机械,2009,37(24):18-21.
- [4] 张勇. 煤矿安全监测监控系统升级改造初探[J]. 煤炭工程,2006,38(3):85-87.
- [5] 汪云甲,杨敏,张克. 数字矿山与煤矿瓦斯监测及预警[J]. 地理信息世界,2008,6(5):26-32.
- [6] 张申,丁恩杰,徐钊,等. 物联网与感知矿山专题讲座之二——感知矿山物联网的特征与关键技术[J]. 工矿自动化,2010,35(12):117-121.
- [7] 解海东,李松林,王春雷,等. 基于物联网的智能矿山体系统研究[J]. 工矿自动化,2011,36(3):63-66.