

基于 LoRa 的远程多路起爆系统设计和实现

邓朝辉

南京米中科技有限公司

DOI:10.12238/acair.v2i3.8585

[摘 要] 为有效提高爆破作业的安全性与效率,本文首先介绍了LoRa无线通信技术;其次,对远程多路起爆系统进行总体设计;在此基础上设计并实现了远程多路起爆系统,主要包括系统硬件电路设计与安全控制实现,在安全控制方面,重点关注起爆控制器、数码电子雷管及系统应用过程中的安全措施。本研究通过设计并实现远程多路起爆系统,为爆破作业提供了一种智能、安全、远程、多路的起爆解决方案,有助于促进爆破技术朝着更智能化的方向发展。

[关键词] LoRa; 远程遥控; 多路起爆; 系统设计

中图分类号: TD676 文献标识码: A

Design and implementation of a remote multi-channel detonation system based on LoRa

Chaohui Deng

Nanjing Mizhong Technology Co., Ltd

[Abstract] In order to effectively improve the safety and efficiency of blasting operations, this article first introduces LoRa wireless communication technology; Secondly, overall design the remote multi-channel detonation system; On this basis, a remote multi-channel detonation system was designed and implemented, mainly including hardware circuit design and safety control implementation. In terms of safety control, the focus is on the detonation controller, digital electronic detonators, and safety measures in the application process of the system. This study provides an intelligent, safe, remote, and multi-channel detonation solution for blasting operations by designing and implementing a remote multi-channel detonation system, which helps promote the development of blasting technology towards a more intelligent direction.

[Key words] LoRa; Remote control; Multiple detonation; system design

随着现代爆破技术的持续发展,现有起爆系统已经不能很好地满足智能化、高效、安全的需求。基于LoRa的远程多路起爆系统因其强抗干扰能力、长距离传输及低功耗等特点而成为当前研究的热点。同时,无线通信技术与物联网技术的快速发展,为远程多路起爆系统的实现提供了强有力的技术支持。研究并实现远程多路起爆系统具有重要现实意义,不仅有助于解决传统起爆方式存在的效率低下、安全隐患等问题,大幅提升爆破作业的效率与安全性,还能够为爆破技术的自动化与智能化发展奠定坚实基础。

1 LoRa无线通信技术

在设计与实现远程多路起爆系统的过程中,选择合适的无线通信技术至关重要。LoRa凭借其独特的优势从众多成熟的无线通信技术中脱颖而出。LoRa技术工作在137~525MHz频段,相较于ZigBee、蓝牙5.0、NB-IoT、RPMA与WiFi等技术,它在功耗、成本及传输距离方面展现出了显著优势。LoRa技术因具备极低的功耗、长达10km的传输距离及极低的成本而成为远程多路起爆系

统的理想选择^[1]。LoRa与其他无线通信技术的对比详见表1。

表1 LoRa与其他无线通信技术的对比

参数	LoRa	ZigBee	蓝牙 5.0	NB-IoT	RPMA	WiFi
频率	137~525 MHz	2.4 GHz	2.4 GHz	850 MHz	2.4 GHz	5 GHz
成本	极低	高	低	低	高	高
距离	10 km	250 m	200 m	15 km	15 km	50 m
抗干扰能力	极强	较强	较强	强	强	较弱
抗干扰技术	线性调制扩频技术	直序/频率跳变	蓝牙自适应跳频技术	正交相移键控	直接序列扩频	波束成形技术
发射电流	47mA@5 V	29 mA@3.3 V	9.3 mA@5 dBm	255 mA	200 mA	430 mA
接收电流	15.8 mA@5 V	27 mA@3.3 V	6.3 mA@5 dBm	81 mA	75 mA	160 mA
功耗	极低	低	极低	高	低	高
速率	62.5 Kbps	250 Kbps	1 Mbps	200 Kbps	624 Kbps	11 Mbps

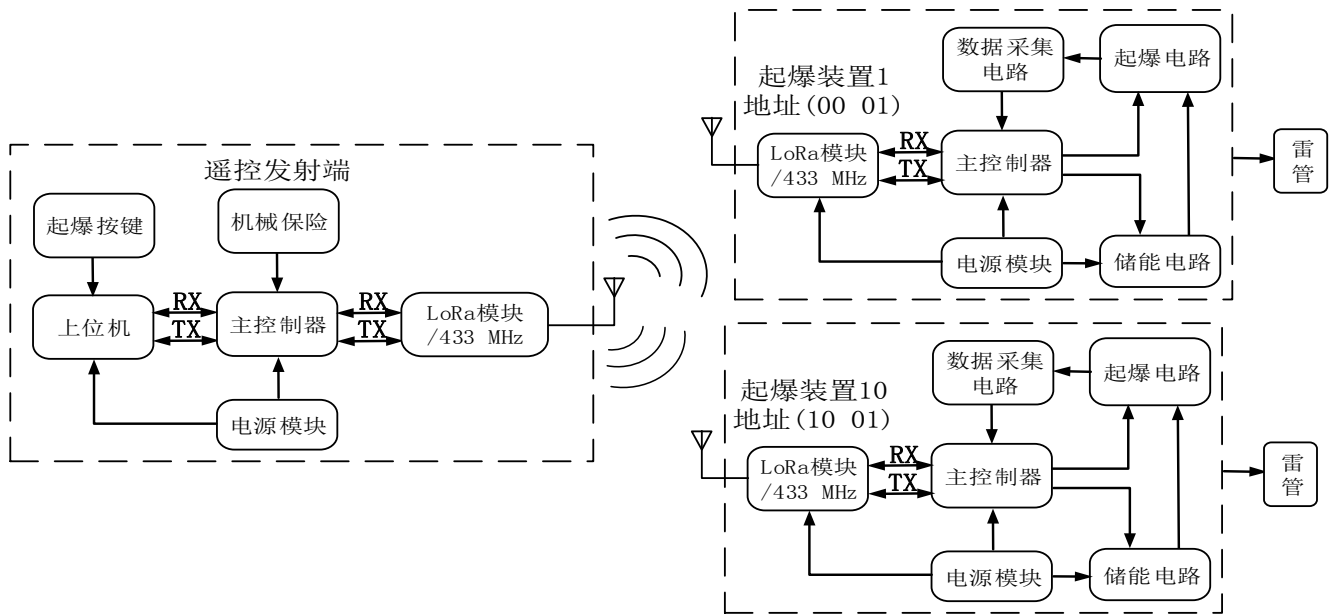


图1 系统总体结构示意图

LoRa采用线性调制扩频技术,一方面能够保证数据的稳定传输,另一方面有助于大幅增强抗干扰能力,进而进一步提升远程多路起爆系统的安全性与可靠性。由此,本研究基于LoRa技术,设计并实现的远程多路起爆系统,为爆破作业提供了一种经济、安全、高效的创新解决方案。

2 系统总体设计

远程多路起爆系统主要包括雷管、起爆装置与发射端三大组成部分,这些组件共同构成了一个安全且高效的起爆网络。为实现远距离的可靠通信,遥控发射端与起爆装置之间采用了LoRa无线通信模块,确保数据传输的稳定性与实时性。该系统遥控距离不小于1500米,工作频率设定在350至430MHz之间,很好地满足了远程起爆作业的需求。值得一提的是,该系统还具备强大的远程控制功能。遥控发射端能够同时控制多达10台起爆装置,每台装置具备100发的起爆能力,极大地提升了作业效率。此外,通过4位编码器对起爆装置完成地址编码,确保了远程遥控发射端与起爆装置之间通信的准确性与合法性^[2]。系统总体结构示意图如图1所示。

实际应用中,现场起爆装置接收到遥控发射端的数据指令后,将指令传输到主控制器完成解析,从而完成校验地址、储能、起爆、检测连接状态、泄放电量等一系列操作。同时,遥控发射端可以实时显示每台起爆装置的地址信息、雷管连接状态以及储能状态,以此为操作人员提供了极大的便利。

3 远程多路起爆系统设计与实现

3.1 系统硬件电路设计

3.1.1 遥控发射端设计

为实现便捷携带与智能化操作,遥控发射端被打造成小型化装置,使用STM32F103系列微控制器作为其主控单元,以保证

系统的稳定控制与高效运算。显示部分采用10.1英寸的电容触摸屏,不仅提升了用户体验,还增强了系统的交互性。与此同时,配备起爆状态指示灯、正常工作状态指示灯,以此为工作人员提供直观的状态反馈。系统电源方面配备小型可充电的聚合物锂电池,保证了LoRa模块与主控电路的稳定供电,进而确保遥控发射端能够长期高效稳定工作。为保障通信的安全性,微控制器借助参数配置将2字节的密钥写入LoRa模块中,并利用该密钥对来加密处理空中无线信号^[3]。起爆装置与遥控发射端之间通过双向验证机制,保障了通信的安全性与合法性。此外,系统还采用密钥更新策略,有效避免了同类模块截获无线数据,显著提升了起爆系统的安全性与排他性。

3.1.2 起爆装置设计

为降低功耗并提升性能,起爆装置的主控器选用了STM32L0系列单片机,其低功耗特性确保了长时间稳定运行。执行起爆操作前,使用4位拨码开关对每台起爆装置进行地址配置,该配置方式一方面有效避免了因起爆装置混乱而导致的误爆,另一方面还有助于增强起爆现场的管控能力。起爆装置均使用12V锂电池供电,并经升压模块升压至80V,以此为起爆回路提供充足能量。储能触发开关使用带电磁耦合的固态继电器,有效提升了转换速率、开关寿命以及电磁抗干扰能力。泄放开关与起爆开关则使用N型增强型场效应管,其快速响应特性保障了起爆的高效性与同步性。此外,系统还增设了通断检测电路,用以对雷管起爆后的连接状态进行远程监控^[4]。通过电位计、二极管及电压比较器的有效,实现了精确检测起爆回路通断状态,这不仅确保了起爆过程的可靠性,还为相关操作人员提供及时的状态反馈,切实保障起爆作业的安全进行。

3.2 系统安全控制实现

3.2.1起爆控制器安全控制

起爆控制器一方面具备与无线起爆模块、信号中继器及手机端进行双向通信的能力,另一方面支持定位功能以及资料存储,并与手机端APP完成双向资料传输,大幅提升远程多路起爆系统的智能化水平。在起爆控制方面,该控制器可向无线起爆模块下达起爆指令,有效解决数码雷管因起爆能量不足导致的盲炮问题,提升了爆破作业的安全性。此外,起爆控制器内置GPS模块可以实时获取控制器的GPS坐标,并借助APP来确认该控制器是否在相关部门注册,或是在被允许的爆破区域内作业,以确保爆破作业的合规性^[5]。起爆系统的现场注册机制进一步确保了起爆网络的封闭性与排他性,从而有效避免了未经授权的访问与操作,这一方面满足了准爆区对雷管的管理标准,另一方面实现了对爆破区域的精确控制与管理,从而增强系统安全性。

3.2.2数码电子雷管安全控制

数码电子雷管运用了尖端的铰钵起爆技术,包含铰钵起爆器、铰钵表及数码电子雷管等核心组件。它具有广泛的延时设定范围,可在0至15000毫秒内灵活设定,且时间误差在1毫秒之内,从而确保了引爆的精准与安全。当起爆器发出指令后,信号通过Zigbee无线模块接收,并触发stm32单片机的中断功能。此后,定时器会延迟10毫秒,随后单片机操控PB5引脚降低电平,使VD1停止导电,K1释放,且常开触头断开^[6]。这一系列操作会使振荡升压电路停工,而电容C1与C2会迅速放电,从而引爆雷管。为稳定供电,雷管的供电电路设计了稳压与充电两大功能。其中,稳压部分保障电源平稳,而充电部分则使用专用的充电管理芯片为电池充电,这种设计确保雷管在各种情况下都能稳定工作。另外,数码电子雷管还配备了MBus通信控制与驱动电路,用以与无线起爆模块完成数据交换。起爆信号通过无线通信接收后,会在MBus通信电路的管理下,经由驱动电路传送至雷管,完成无线引爆。这种方式不仅提高了效率,还显著增强了引爆系统的安全性与实用性。

3.2.3系统应用过程中的安全控制

安全控制措施贯穿系统实际应用的始终,以保证操作的安全可靠。首先,数码电子雷管、起爆模块及起爆控制器等的使用必须在相关部门的严格授权下,并且仅限于允许爆破的区域内操作,有效避免了非法使用与误操作;其次,起爆控制器在启动起爆前准备阶段,必须获得特定的组网密码,这进一步确保了系统的安全性;最后,起爆操作需通过同时按下“B”键与“H”键来实现,该双重确认机制大幅减少误触发的可能性,从而为爆破作业提供了更安全可靠的保障。

4 结束语

综上所述,本研究基于LoRa,设计并实现的远程多路起爆系统,充分发挥LoRa技术长距离传输、低功耗等特性,同时结合先进的硬件电路设计与安全控制机制,为爆破领域带来了创新的解决思路与方案。未来,伴随无线通信技术与物联网技术的持续进步,基于LoRa的远程多路起爆系统有望在爆破行业中发挥更关键的作用,从而促进与推动爆破技术的无人化与智能化发展,进而为相关行业的高效、稳定运行贡献更多力量。

【参考文献】

- [1]李萍丰,张金链,徐振洋,等.智能无线远距离起爆系统在露天矿山爆破的应用分析[J].金属矿山,2022,51(4):72-78.
- [2]高飞,刘吉,武锦辉,等.基于LoRa的远程多路起爆系统的设计[J].国外电子测量技术,2023,42(6):79-85.
- [3]迟洪鹏,范纯超,田悝哲,等.基于无线网络的地下远程遥控起爆系统研究[J].工程爆破,2021,27(02):120-124.
- [4]刘金月,龚鹏,杨昊伟,等.网络化弹药起爆控制半实物仿真测试方法[J].兵工学报,2023,44(06):1677-1687.
- [5]李萍丰,张金链,徐振洋,等.基于LoRa物联网的远程智能起爆系统研发[J].金属矿山,2022,(07):42-49.
- [6]周愿.基于Android的远距离电子雷管起爆终端设计[D].安徽大学,2022.

作者简介:

邓朝辉(1967--),男,汉族,上海人,博士,南京米中科技有限公司,高级,研究方向:无线通信技术。