

深井矿山主斜坡道信号控制系统

文/孙晓鹏 韩文涛
山东黄金矿业（莱州）有限公司三山岛金矿

随着矿山的开采，矿井深度增加，运输车辆增多，运输方式也发生了改变，主斜坡道运输压力已影响到正常的生产运营，斜坡道信号系统现成为安全生产效率的保障，针对矿山井下自动信号系统进行分析，并提出相应的控制方案。

以主斜坡道为运输巷道的矿山，随着矿井开采深度的增加，无轨设备数量的增多，严重影响了运矿车辆的运行速度和人员车辆的安全。在主斜坡道信号系统建立一套新的控制系统，用红绿灯及红绿箭头作为信号指示，依靠大型运矿车辆的位置、目的地、运行方向等作为条件，结合主斜坡道中的车辆位置情况，确保大型车辆的优先通行，控制斜坡道吉普车、工程车、辅助车等设备的行驶、停车及避让，可以有效地缓解主斜坡道运输压力，避免堵车，提高生产中运矿车辆的运输效率，确保斜坡道车辆及人员的安全，降低了斜坡道车辆碰撞事故的概率，有效地减少事故的发生。

主要功能

1) 每辆大型运矿车辆配置具备ZigBee自定位功能的车载机，车载机实时计算自身坐标、车速、方向和故障等信息，并将车辆ID信息、定位信息及车辆状态信息定时向中心控制器发送。车载机具备所有车辆及信号状态显示及自控功能。

2) 在主斜坡道各个巷道口、装矿站、卸矿站有灯控的位置前后及之间各安装一台定位基站，读取车载机ZigBee定位请求，并实时向车载机反馈无线场强（RSSI）信息，为车辆定位提供信标点，定位器具备无线自组网数据传输功能，定位基站无线网络作为信号系统CAN网络故障时的传输备份链路。

3) 主斜坡道每隔一定安全距离安装通信基站，

通信基站采用CAN总线连接，通信基站ZigBee无线模块接收车辆上传信息，并通过CAN总线网络将所有车辆数据送入嵌入式信号控制主机。信号控制主机通过数据汇总和规则演算，通过CAN总线网络向受控信号灯下发控灯命令。

4) 信号灯配置灯光控制器，无线接收系统依据通信基站的控制指令，由灯光控制器下达控制信号灯指令，通过控制信号灯状态（红、绿、绿闪、红闪、左绿箭头、右绿箭头、左红箭头、右红箭头）指挥车辆。

5) 在信号控制调度中心采用三维虚拟现实方式，实现井下车辆及信号系统的实时监控及管理调度功能。实现卡车运行轨迹的实时、历史轨迹显示。同时在井下及信息中心调度大厅设置管理后台，通过工业环网与信号控制调度中心一起共同实现对系统的监控和管理。

系统要求

(1) 网络基础

信号系统采用工业级CAN总线架构设计主通信链路，车辆定位及信号控制采用ZigBee无线通信方案。CAN总线提供网关接口，方便接入已经建成的井下工业以太环网，将数据送入地表实现系统远程监控功能。

(2) 网络冗余

充分考虑井下工业现场环境，并保持系统独立

性。斜坡道信号系统采用双通道数据传输系统,工业CAN总线、ZigBee无线自组网,双通道数据系统互为备份,当系统运行时,CAN总线、ZigBee无线自组网双通道传输系统同时工作,双通道互相冗余,确保系统在线路或设备的单点故障时不影响整个系统的可靠运行。

(3) 系统独立

信号系统应采用全嵌入式系统,车载机、定位基站、通信基站和信号控制主机应在全嵌入式环境下运行,做到上电即可运行,无须工业以太网及计算机上层软件支持。

(4) 车辆精确定位

为了提高车辆定位精度及信号系统自动运行效率,车载机ZigBee定位模块应能够实现自行精确定位功能(定位精度以能准确判定车辆到达灯控路口、离开灯控路口、经过两个灯控路口之间为原则,为了提高控制效果,可在装矿站、卸矿站车辆密集地点适当增加定位基站),根据车载机与沿途定位基站交互通信并计算,自动计算出自身车辆坐标、车速和运行方向等信息。

(5) 系统自动运行

系统应能够自行判定车辆位置、运行方向、车速、进入中段、进入装载站、进入卸载站、转向和停车等行车事件,根据控灯规则无须人工干预自行运行,避免人为操作失误对信号系统运行的干扰。

(6) 系统可网管

所有设备都具有网络管理运行机制,线路故障、设备故障和通信模块故障都可以主动报警,提示运维人员及时维护,故障定位精准。

(7) 硬件部署

井下主斜坡道每隔约50 m安装一台定位基站,每个装矿站、卸矿站和转载站增加两台定位基站,确保通信定位精度。定位基站功能要求为:具有ZigBee器件,能为定位点提供定位信号;主斜坡道每个斜联口及装矿站、卸矿站安装一台通信基站,采用CAN总线相连,负责数据调度与信号控制。通信基站具有工业以太网接口,具有网关功能,能将数据传输至人机定位系统;具有后备电源及电源管理系统,能够持续待机2~3 h;通信基站具有人机定位功能,能够接入工业环网,对人员设备进行定位。

所有中段口、躲避硐及转弯进出口安装信号灯,配置LED信号灯、信号灯控制器。信号灯具有信号灯故障自检功能。

车载控制器具有电源模块,能够克服电源的干扰。

嵌入式车辆定位及信号控制器具有X86平台Linux操作系统,实现货车定位及根据控制规则控制信号系统。

服务器配置3D GIS服务器、Web服务器及数据库服务器,对于车辆位置及信号灯状态进行显示、控制及发布。

(8) 软件架构

采用B/S架构,采用三维建模建立井下斜坡道三维监控平台,车辆位置及信号状态实时在三维平台上动态显示。以数据库作为管理工具。系统采用先进的分布式处理模式,能充分发挥各部分设备的性能优势,结构简洁,稳定可靠,可操作性强,便于系统的日常维护及管理。系统结构示意图如图1所示。

(9) 信息共享

系统提供网络接入端口,交通信号系统可以将车辆运行状态、信号状态和设备网络管理信息通过网络接口接入井下工业以太环网,搭建起一个信息交互的平台,从而使大量的井下信息通过平台进行交互,实现矿山井下的信息共享。

(10) 设备防护

考虑到井下现场环境潮湿,有腐蚀性、粉尘浓度高且有碰撞的可能,所用设备设施需采用ABS工程塑料,IP66防护等级,符合井下现场环境的要求。

功能要求

信号系统通过红绿灯及红绿箭头的自动变化,能够使斜坡道车辆根据指示灯变化及时调整运行,从而达到根据指示灯自动控制斜坡道运输的目的,该系统应满足同时运行多种车辆、能够在复杂的条件下对斜坡道信号做出指示的要求。该信号系统要求根据井下大型运矿车辆的实时位置自动改变信号灯的颜色及内容,斜坡道除大型运矿车辆外,其余车辆根据信号灯指示行车、停车以及及时避让,应优先保障大型运矿车辆通行,其余车辆应避让大型

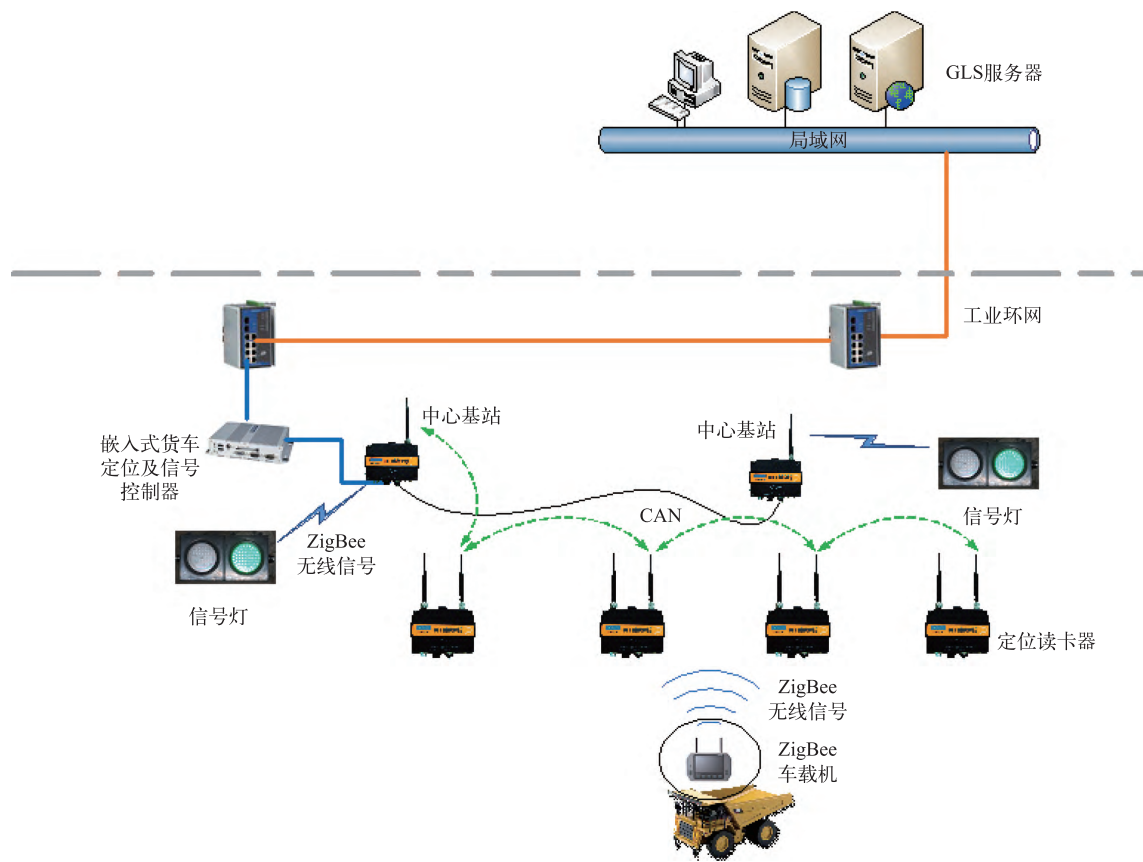


图1 系统结构示意图

运矿卡车，防止追尾或碰撞事故的发生，确保井下行车安全，提高井下运输效率。

系统工作后，在井口和调度的控制系统应设置井下主斜坡道运矿车辆运行路线图，实时对井下大型运矿车辆进行定位，要求全部可动态显示斜坡道大型运矿车辆的实际位置和整个斜坡道信号灯的状态，并对整个信号控制系统中硬件设备进行数据传输及故障监测。

为防止突发状况，控制中心可取消大型运矿卡车对信号系统的影响，强制控制主斜坡道信号系统，并控制井下信号灯，从而应对井下突发状况。

1. 设计原则

遵循安全可靠、功能齐全、施工简单、节约成本、性能稳定、减少维护量和技术先进的原则。

1) 井下主斜坡道及各中段分段巷联络巷入口实现全覆盖，对车辆在斜坡道内实现全程、连续、实时精确的定位跟踪。

2) 设计模块化，为后期的网络扩容、系统升级

提供便利。

3) 兼容性能设计，接口方式灵活，满足矿山信息化建设。

4) 稳定性、实用性能并举，易于维护，成本低。

5) 系统独立性、型号系统应采用全嵌入式开发，上电即可独立运行，不依托于网络和地表服务器系统。

6) 软件功能强，集中管理，分散控制，界面友好，功能全面。

2. 控制方案

大型运矿车辆能够自动定位，司机可选择自动和手动两种运行方式，手动运行时可根据作业要求选择本次行车目的地、运输途径，运输过程可根据需要调整目的地、运输途径等，可根据自身运行状态发出开车、停车和故障状态指示，并可对运行途径内的指示灯进行控制，从而控制斜坡道其他车辆的运行，同时可显示自我车辆的故障，发生故

障时需自动声光报警，并可以解除故障报警。

信号显示：

1) 红灯——禁止通行，车辆应退出干线（迎面有矿车）。

2) 绿灯——允许通行，允许在干线上行驶。

3) 绿色箭头——允许按此方向行驶车辆进入主斜坡道。

4) 红色箭头——不允许按此方向行驶车辆进入主斜坡道。

5) 绿闪——让行，慢速车退出干线（尾部有矿车）。

6) 红闪——锁闭区段（装卸矿锁闭区域或故障锁闭区域），货车应提前减速，主斜坡道除大型运矿卡车外，其他车辆禁止驶入该区域。

干线上无大型运矿车辆时，斜坡道信号灯应亮绿灯。

干线上有大型运矿车辆时，锁闭区段内与大型运矿车辆同向信号灯应为绿闪，同向车辆可以行驶，反向信号灯应为红灯，逆向车辆禁止通行，需及时避让。中段信号灯应为红灯，严禁驶入主斜坡道。

大型运矿车辆控制系统手动运行时，司机需设置开车信号、目的地和运行区间，系统根据车辆位置信息自动设置锁闭区段，并调整区段信号灯，随着车辆移动自动延伸锁闭区段。

大型运矿车辆控制系统自动运行时，锁闭区段会根据运矿车辆位置及运行方向自动设定锁闭区段，并调整信号灯。

信号系统可在大型运矿车辆通过后自动将锁闭区段改为正常区域，将所有指示灯改为绿色。

大型运矿车辆如遇紧急事故，驶离主斜坡道后，可发出停车信号，停车信号发出后自动将锁闭区段改为正常区域，将所有指示灯改为绿色。

大型运矿车辆中途如遇车辆故障，无法驶离主斜坡道，可发出故障信号，故障信号发出后自动将当前区域设为锁闭区段，将指示灯改为红色。并向维修人员发出故障地点及故障信号，维修人员需根据故障及时修复，确保主斜坡道运行通畅。

自动运行时，货车进出分段巷或卸矿站，会自动改变上下行方向，并可转手动临时变更去向。

控制主机可显示车号、车位，对信号灯进行实

时控制并显示信号灯当前状态，对系统自动进行巡检和故障报警。

控制主机可实时显示信号系统中全部车辆运行状态和信号灯状态，并传输至人机定位系统和车载台，以便随时查询。可对信号系统自动进行巡检和故障报警。

车辆运行信息管理控制系统可根据大型运矿车辆运行状态进行实时记录，并将记录信息上传至控制中心，控制中心对大型运矿车辆运行状态进行分析并形成报表。

灯光规则管理对灯光变化规则进行编辑，规则为模块化设计，可根据需要随时灵活设置。

司控管理在许可情况下，信号控制权限下放，由司机对信号灯进行管理。

3. 基本工作原理

运矿车辆根据主斜坡道上当前所处位置附近的定位基站所反馈的场强信息（RISS）和位置坐标进行综合计算，得出自身位置坐标。大型运矿车辆根据定位数据，将车号、所在位置、车辆状态、行车路线、行车目的地及车辆故障等信息由最近的通信基站通过CAN总线发到地表基站，由地表基站转发到控制中心。

运矿车辆司机通过操作面板选择运行区间、开车、停车指令，并显示去向信息、设备行车停车状态及故障声光报警。运矿车辆运行前需经地表控制中心同意后，允许运行指示灯亮后方可运行，当运矿车辆临时改变目的地时，需及时向地表控制中心发出信号，由地表控制中心核对井下运矿车辆位置及路线，接允许运行指示灯后方可运行。

地表控制中心的控制系统接收到运矿车辆运行区间、开车、停车、去向等信息，进行逻辑处理，将控制信号由CAN总线发给信号控制基站，控制器信号灯工作。并在显示屏显示车号、车辆位置和相关信号灯指示等信息，控制中心可由自动转手动，由人工控制信号灯状态。

由网络协调器进行基站网络管理，对网络进行自动组网，并显示网络工作状态，在触摸屏进行显示。工作原理如图2所示。

结束语

主斜坡道信号系统通过红绿灯及红绿箭头的自

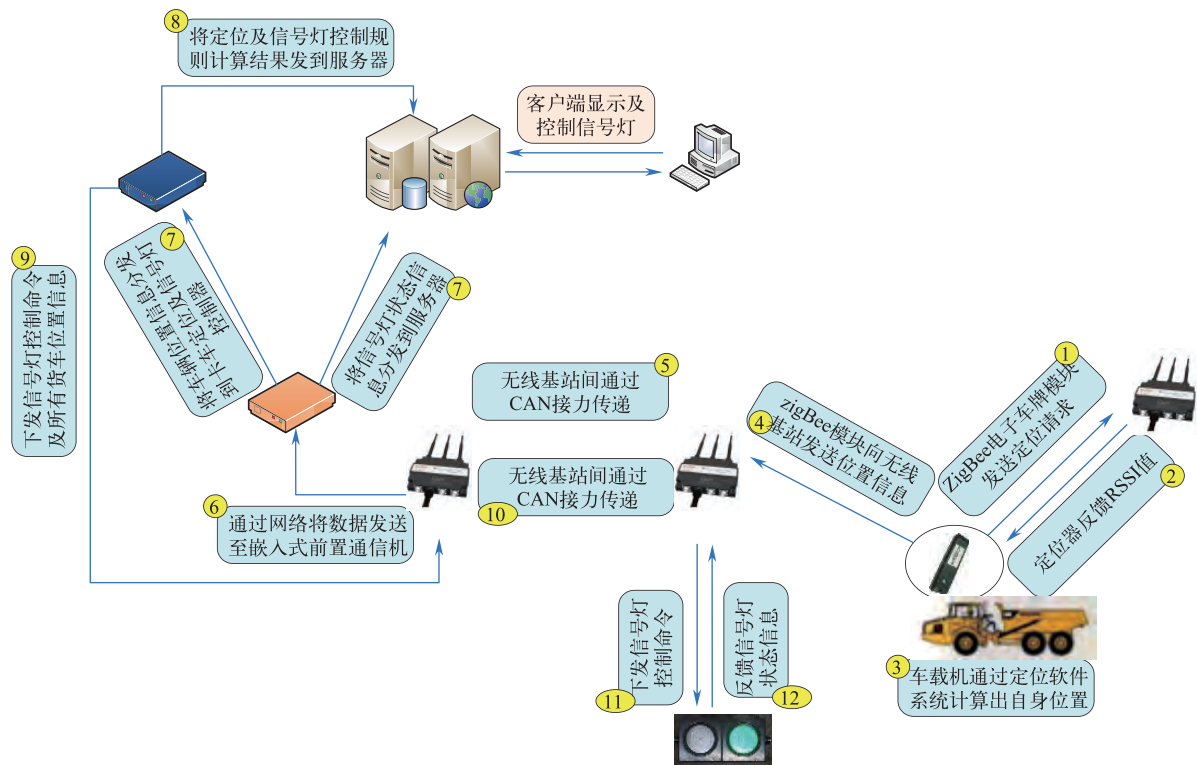


图2 工作原理示意图

动变化,使斜坡道车辆根据指示灯变化及时调整运行,从而达到根据指示灯自动控制斜坡道运输的目的,该系统应满足同时运行多种车辆、能够在复杂的条件下对斜坡道信号做出指示的要求。该信号系统要求根据井下大型运矿车辆的实时位置自动改变信号灯的颜色及内容,斜坡道除大型运矿车辆外,其余车辆根据信号灯指示行车、停车以及及时避让,应优先保障大型运矿车辆通行,其余车辆应避免让大型运矿车辆,防止追尾或碰撞事故的发生,确保井下行车安全,提高井下运输效率。EA

参考文献

- [1] 夏益民,梅顺良,江亿.基于ZigBee的无线传感器网络[J].微计算机信息.2007,23(2):129-130.
- [2] 孙利民,李建中,陈渝,等.无线传感器网络

[M].北京:清华大学出版社,2005.

- [3] 张平.甚低功耗无线通信技术—ZigBee[J].中兴通讯技术,2006,12(4):21-25.
- [4] 朱金芳.基于低能耗策略的无线传感器网络相关技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- [5] 周怡寤,凌志浩,吴勤勤.ZigBee无线通信技术及其应用探讨[J].自动化仪表,2005,26(6):5-9.
- [6] 任秀丽,于海斌.基于ZigBee技术的无线传感网络的安全分析[J].计算机科学,2006,33(10):111-113.
- [7] 郁海彬,朱寅,章明.电力系统通信终端接入网现状及拓展业务的研究[J].电气应用,2022,41(11):23-30.