

矿井瓦斯动态巡检与智能管控系统设计研究

刘海涛¹ 李娜² 吴思博²

(1. 陕西煤业集团黄陵建庄矿业有限公司通风防尘部 2. 西安科技大学计算机科学与技术学院)

摘要：瓦斯事故是我国煤矿面临的主要安全隐患之一。针对煤矿瓦斯巡检过程中存在的复杂性和现有监测手段存在的漏报误报问题，提出了一种矿井瓦斯动态巡检与智能管控系统。该系统采用多参数无线传感器，结合精准人员定位系统，实时监测矿井内瓦斯浓度、温湿度和其他关键环境参数，并通过无线方式传输数据至地面数据库。结合大数据分析技术，系统能够准确识别瓦斯风险，实时预测预警潜在的安全威胁。系统的实施显著提升了瓦斯监测的效率和准确性，降低了煤矿瓦斯事故发生的风险，提高了矿井瓦斯安全监控的自动化和智能化水平。

关键词：矿井瓦斯；动态巡检系统；无线传输；智能管控；安全预警

0 引言

煤炭是我国的主体能源，2022 年全国煤炭消费总量为 30.4 亿 t 标准煤，占能源消费总量的 56.2%^[1]，中国工程院预测 2050 年中国煤炭占一次能源消费比例还将保持在 50% 左右^[2]。我国煤矿资源赋存地质条件复杂，导致安全事故多发，在统计发生的煤矿特别重大事故中，以瓦斯事故所占比例最高、影响最大^[3]。2014 年 9 月 4 日，黑龙江省双鸭山市双新煤炭有限责任公司新久煤矿发生一起较大瓦斯爆炸事故，死亡 4 人，受伤 1 人，直接经济损失 563 万元。2019 年 11 月 18 日，山西平遥峰岩煤焦集团二亩沟煤业有限公司 9102 工作面发生一起瓦斯爆炸事故，事故共造成 15 人遇难，9 人受伤。2023 年 4 月 2 日，吉林省白山市江源区吉坤矿业有限公司发生一起较大瓦斯爆燃事故，造成 4 人死亡、4 人受伤，直接经济损失 1016 万元。2023 年 8 月 21 日，陕西省延安市延川县新泰煤矿发生一起重大

瓦斯爆炸事故，造成 11 人遇难、11 人受伤。这些都是因为部分矿井存在局部区域监测盲点、传感器调校不当、监督管理不力、信息传递欠缺、数据处理及利用不充分所造成的重大瓦斯灾害事故。因此，规范煤矿瓦斯巡检流程，提高智能化和管理水平，减少安全隐患，成为煤矿安全领域亟待解决的重大难题。

目前，瓦斯浓度的检查主要有自动检查和人工巡检两个途径。自动检查通过煤矿在井下所安装的传感器在地面获得检查数据，所使用的传感器测点分散，且检测参量单一，覆盖区域小，井下作业人员无法查看作业区域的瓦斯信息，并存在检测盲点及漏检误检等问题^[4]。人工检查通过瓦检员去测量。由于甲烷传感器具有自动监测报警且能连续工作，使一些矿井过分依赖其作用，从而忽略了瓦检员的作用，疏忽了对瓦检员的管理。对于瓦检员是否按规定线路、时间、地点以及次数进行安全检查也无法做到具体的监管，增

加了煤矿安全生产的管理难度^[5]。

鉴于以上原因，为保障矿井安全高效生产的需求，矿井亟需研发一套矿井瓦斯动态巡检与智能管控系统，结合人员定位系统，对井下瓦斯传感器和瓦检员进行有效管理。通过智能巡检技术，提高巡检效率和精度，不仅能显著提高瓦斯监测的效率和准确性，还能减少人工巡检的频次，降低劳动强度，进一步提高矿工的工作安全性，有助于煤矿管理者更好地理解和控制矿井内的瓦斯动态，为煤矿的安全生产提供更加科学和有效的决策支持。

1 工程概况

陕西某煤矿核定产能500万t/a，主采3-1、3-2、3-3、4-1、4-2号煤层，矿井井田面积48.0km²，分为5个盘区，目前一、二盘区回采完已封闭，三、四盘区正在回采，五盘区正在开拓，剩余服务年限26a。现阶段矿井生产主要集中在4-2号煤层，4-2煤层属Ⅱ类自燃煤层，矿井水文地质类型为“中等”，地质构造类型为“中等”，煤尘具有爆炸性危险，无地热危害，属弱冲击地压危险矿井。

2022~2023年度矿井瓦斯等级鉴定结果由原来的低

瓦斯矿井升为高瓦斯矿井，使得矿井瓦斯灾害的危险性增大。目前全矿井具有瓦斯监测点280个，采用人工巡检方式进行井下瓦斯浓度的检测，瓦斯巡检工作中存在空班漏检、检测数据不准确、监管不到位等问题。因此，针对传统瓦斯检测方法的漏检、误检和瓦斯巡检员管理不足等问题，依托矿井5G网络、LORA网络和万兆工业环网，采用人工智能、物联网、LORA、边缘计算、人工智能等技术，研究瓦斯巡检在线监测技术、瓦斯巡检数据无线通信同步显示技术、瓦斯信息可视化呈现技术等，研发矿井瓦斯在线巡检与智能管控系统。根据瓦斯浓度变化、温度波动和其他关键指标的实时数据，有效地识别瓦斯危险状态。通过实时监测和智能数据分析，及时预报瓦斯超标风险，还能在潜在灾害发生前及时发出警报，实现矿井瓦斯巡检的数字化、网络化、智能化。此外，结合精准人员定位系统，可以有效避免瓦检员空班漏检的问题，提升了人员管理效率。

2 系统结构

矿井瓦斯在线巡检与智能管控系统由感知层、网络层和应用层构成，系统架构图如图1所示。

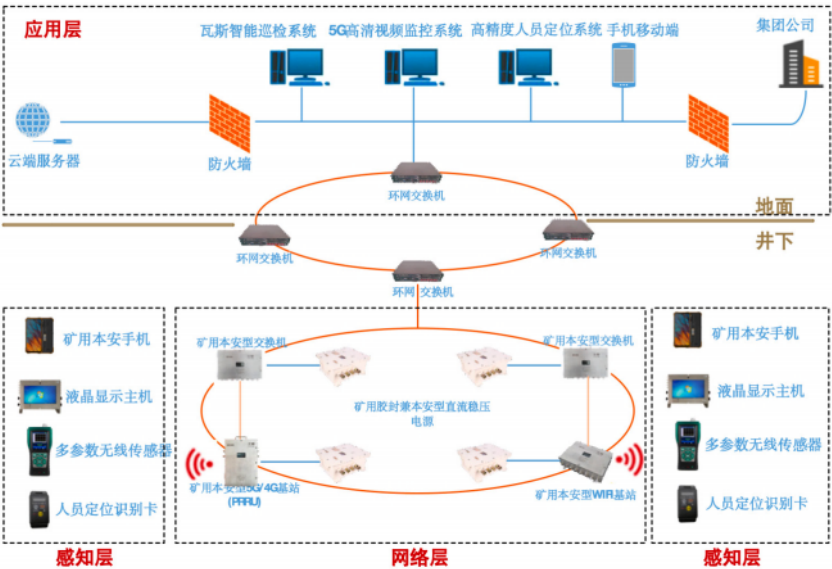


图1 矿井瓦斯动态巡检与智能管控系统结构框架

1) 感知层：实现数据的采集。感知层包括人员定位识别卡、矿用本安型便携式多参数无线传感器、液晶显示主机和矿用本安手机等感知设备。通过人员定位识别卡可以精准采集人员位置。矿用本安型便携式多参数无线传感器集成微型负压泵于一体，可同时检测甲烷、二氧化碳、一氧化碳、氧气、温度、湿度等参数，通过蓝牙网络或其他无线网络可实现在线巡检数据实时上传，提高人工巡检的效率。参数无线传感器数据上传的通路有两条，一是多参数无线传感器可以和液晶显示主机进行碰传，将采集的数据通过液晶显示主机上传至瓦斯智能巡检系统软件平台。液晶显示主机安装在井下，同时实时更新显示的监测数据内容。二是多参数无线传感器也可以和矿用本安手机通过蓝牙或者 WiFi 方式进行数据互换，数据通过手机上传至瓦斯巡检智能系统平台。

2) 网络层：实现数据的传输。感知层将采集的数据通过矿井下的 5G、4G 或者 WiFi 网络基站利用万兆工业环网传输到地面上，然后利用交换机部署到云端服务器上从而进行数据的分析与预警预测，完成巡检、监控、人员定位的功能。

3) 应用层：实现实时数据的收集、处理和展示。应用层的客户端，包括 PC 端和移动端，是与用户的交互系统，主要用来实现用户对系统的应用和页面请求；Web 应用服务器，是服务系统，采用 J2EE 技术，主要实现用户请求的解析、数据查询与处理；人工智能引擎包含了数据处理和智能化服务两部分，数据处理主要是实现数据的标准化处理，智能化服务则为用户提供多种业务智能化服务支撑逻辑。

3 系统功能

矿井瓦斯动态巡检与智能管控系统不仅实现了井下主要矿区、主巷道等重要监测地点的瓦斯实时浓度查看以及实时预测预警，保障了信息的自由流通，还确保了系统部分间的无缝通信，从而为矿井安全提供了坚实的技术支持。

根据用户的功能需求，系统平台软件主要包括态势感知、实时检测、任务管理、设备管理、故障管理、应急管理、效能统计、预警预测、报告报表、系统配置等十个子功能模块，系统软件主界面图如图 2 所示。



图 2 系统主界面图

1) 态势感知：位于系统首页中，基于矿山整体3D视图进行全局监控。页面包括全景视图、数据统计、动态信息提示栏等内容，提供矿井的实时三维布局、关键运行数据和最新安全通知。

2) 任务管理：支持发起、分类和查看巡检任务，并为任务设置必要的属性，如任务名称、任务描述、执行时间、任务状态、任务发起人等，同时用户可以根据实际需要设置巡检点的位置区域、路径节点、巡检路线、规划采矿区域，通过提供详尽的任务视图和进度更新，这一模块助力提升矿井作业的组织效率和执行准确性。

3) 设备管理：对感知层的数据采集设备进行有效管理，包括设备的新增、配置、查询、删除、导出、故障上报功能，系统可以基于设备地址和类型直接进行设备查询与配置等操作，也可以将设备搭载到巡检点，基于巡检点管理，通过集中管理和智能化分析，以提高设备的可靠性和操作的连续性，从而支持矿井的全面运营需求。

4) 实时监测：将矿用本安型便携式多参数无线传感器采集的矿井数据以列表形式展示，包括瓦斯浓度、温度、湿度和其他有害气体的水平。通过精确的传感器网络和先进的数据处理技术，该模块能够实时捕捉到每一个微小的变化，及时识别安全风险，并迅速发出警报。这不仅提高了矿井安全监控的响应速度，也增强了预防事故的能力。

5) 应急管理：专注于识别和响应因异常气体浓度引起的紧急情况。它能够迅速识别出超标的瓦斯、一氧化碳或其他有害气体，并立即启动应急预案，指引矿工迅速安全地撤离危险区域。

6) 效能统计：通过综合个人效能评估、任务完成情况分析、设备运行效率监测及数据报告和分析功能，它不仅为管理者提供了关键绩效指标和趋势分析，还帮助优化资源分配和改进作业流程，从而有效

提升整个矿井的运营效率和安全管理水平。

7) 故障管理：全面负责监测、诊断和处理矿井设备故障。一旦发生故障异常，及时生成警报，记录故障发生的关键信息，包括故障名称、故障类型、故障设备、故障级别、故障状态、故障发生时间以及故障消失时间等，有效地协调维修任务和分析故障原因，从而提高矿井设备的维护效率和减少停机时间，保障矿井的连续运行和安全。

8) 预警预测：通过对井下工作点瓦斯灾害特征信息各气体成分浓度统计分析，基于改进的LSTM算法预测瓦斯风险，发出及时预警，还支持对长期数据趋势的分析，为矿井安全管理和决策提供了数据驱动的洞察，显著提高了对矿井潜在风险的预测能力和应急响应效率。

9) 报告报表：根据用户的特定需求，生成巡检任务和监测数据的详尽报告和报表，支持报告的在线打印与PDF文件格式的导出功能，以供决策制定和合规性审查提供全面而可靠的依据。

10) 系统配置：为系统管理员提供了一个中心化的界面来配置和维护系统的各项功能，包括但不限于用户配置、设备配置、策略配置等。用户管理能够对用户进行增删改查等操作；设备配置包括各种设备的备案以及管理；同时系统应支持自定义各类数据的报警阈值，并在超过这些阈值时生成预警通知，以及通知相关人员采取必要的措施；不仅确保了系统运行的高效性和可靠性，还提升了整个系统对不同矿井环境和特定操作需求的适应性。

4 结束语

矿井瓦斯动态巡检与智能管控系统针对现有矿井瓦斯巡检管理中存在的问题，结合精准人员定位系统，基于多参数感知设备采集的实时监测数据，建立矿井瓦斯超限辨识与预测模型，实现矿井瓦斯潜在危

PRODUCT AND TECHNIC

|| 产品与技术 ||

险性的多元信息感知，提高了矿井对瓦斯灾害的预防预控和应急处置能力；规范了矿井瓦斯巡检工作流程，有效降低瓦检员的工作强度；加强了对瓦检员的监督管理，避免漏检和不检现象。系统的实施切实发挥瓦检员对于煤矿安全生产的作用，进一步提升了煤矿智能化水平和管理水平。

参考文献

[1] 袁亮，王恩元，马衍坤，等.我国煤岩动力灾害研究进展及面临的科技难题[J].煤炭学报，2023，48（5）：1825-1845.

- [2] 袁亮.废弃矿井资源综合利用助力实现“碳达峰、碳中和”目标[J].科技导报，2021，39（13）：1.
- [3] 王博，罗叶.基于钻孔数据的瓦斯治理及灾害实时诊断评价系统开发与应用[J].煤矿机械，2023，44（7）：164-168.
- [4] 陆铮.矿井瓦斯动态巡检与管控系统设计与应用[J].煤炭科学技术，2018，46（8）：125-129.
- [5] 申伟光.基于无线瓦斯巡更技术的煤矿瓦斯巡检管理系统[J].煤矿安全，2020，51（6）：109-112.

(收稿日期：2023-12-14)