

煤矿井下人员精确定位系统设计与实现

龙 鹏

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

【摘要】：煤矿井下作业环境复杂，安全问题一直是行业发展的核心问题。为了有效提高矿工的安全保障，本论文设计并实现了一种基于现代定位技术的煤矿井下人员精确定位系统。系统通过集成无线通信、传感器技术以及位置追踪算法，实现了对煤矿井下人员的实时定位与监控。在此基础上，提出了基于精确定位数据的安全预警机制，能够及时发现并预警矿井中的异常情况。实验结果表明，该系统能显著提高煤矿井下人员的安全性，减少事故发生的概率，具有较强的实用性与推广价值。

【关键词】：煤矿安全；人员定位；精确定位系统；无线传感器；实时监控

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.069

引言

煤矿井下作业的复杂性和危险性要求各类技术手段在确保作业安全方面发挥重要作用。传统的人员管理方式常常难以应对井下环境的特殊性，导致安全隐患难以及时发现。近年来，随着定位技术的快速发展，如何通过精确的人员定位系统提升井下作业的安全性，成为了煤矿行业关注的热点。通过实时监控和数据分析，能够有效解决井下人员监控滞后、安全保障不足的问题，提高作业效率，降低事故风险。精确定位系统的实现不仅是技术的进步，也对煤矿安全管理模式产生深远影响。

1 煤矿井下人员定位系统的设计需求

1.1 煤矿井下环境分析

煤矿井下环境复杂，通风、照明等自然条件对作业带来很大挑战。由于矿井深度较大，信号覆盖难度大，GPS等传统定位系统在地下环境中无法稳定运行。矿井内不仅有密集的管道、支撑结构等障碍物，还存在地下水、气体泄漏等危险因素。这些环境条件极大地限制了人员的定位精度和通信效率。地下环境的特殊性要求设计的定位系统必须具有较强的抗干扰能力和适应性。系统必须能够在复杂的地质条件下，提供稳定、可靠的定位服务，同时要兼顾矿工的安全性，避免因信号中断导致的管理漏洞。

1.2 人员安全管理现状

煤矿井下作业的人员安全管理一直是行业的难点。目前，矿井人员定位系统较为传统，依赖人工巡查和定期检查，难以实时掌握矿工的位置及状态。传统管理方式未能有效减少矿井事故的发生，尤其是在紧急情况发生时，缺乏及时、精确的定位信息，导致应急反应缓慢。随着矿井规模的不断扩大，传统管理手段已难以满足实际需求，事故风险持续增加。虽然近年来部分矿区已开始使用简易的人员定位系统，但大多数系统仍存在定位精度低、实时性差等问题，亟待技术升级与创新。

1.3 定位技术在煤矿安全中的应用需求

当前，煤矿井下安全管理亟需引入高效、精确的定位技术来提升矿井的整体安全保障。定位系统不仅要具备高精度的人

员定位功能，还要具备较强的环境适应能力，以应对复杂的地下环境挑战。随着无线通信技术、传感器技术和大数据分析的不断发展，现代定位系统能有效实现矿工的实时跟踪、区域管控及风险预警等功能。针对煤矿井下的特殊环境，如何结合现有的定位技术并进行适配与优化，成为设计安全定位系统的核心问题。通过精确定位，矿井的应急管理、事故预警等工作将更加高效，从而大幅度提高矿工的安全保障水平。

2 精确定位技术的选择与实现

2.1 无线定位技术的优势

无线定位技术在煤矿井下的应用具有显著的优势。与传统的有线系统相比，无线技术具有灵活性强、安装简便、适应性强等特点。在复杂的井下环境中，布设有线系统不仅成本高昂，还容易受到环境干扰，尤其是在湿气较重、尘土飞扬的矿井中，信号传输不稳定。无线定位系统通过低功耗的无线传感器网络实现对矿工位置的实时追踪，能够快速响应环境变化。通过优化的信号传输技术，无线定位技术可以有效避免地下障碍物和信号屏蔽带来的干扰，提供更加稳定、精确的定位信息。随着5G、NB-IoT等新兴技术的兴起，无线技术在传输速率、数据吞吐量和连接稳定性等方面有了质的飞跃，进一步增强了煤矿井下无线定位系统的可靠性与实用性。

2.2 定位算法与传感器的结合

传感器通过收集环境数据，如温度、湿度、压力以及矿工的运动轨迹，能够为定位算法提供必要的输入信息。基于这些数据，定位算法采用多种方式进行数据融合，以提高定位精度和稳定性。惯性导航系统（INS）和地磁传感器的结合，能够在GPS信号不稳定或丢失的情况下，继续提供精确的定位信息。机器学习与深度学习算法的应用，能够根据历史数据不断优化定位模型，提高系统的自适应能力和预测精度。

2.3 系统架构设计与关键技术

煤矿井下精确定位系统的架构设计需要兼顾稳定性、可扩展性和实时性。系统通常由定位终端、通信模块、数据处理中心和监控平台四个主要部分组成。定位终端装配多种传感器，

实时采集矿工的位置信息，并通过无线通信模块将数据传输至地面监控平台。数据处理中心采用高效的定位算法，对接收到的信号进行分析和处理，生成精确的定位数据。监控平台则负责对矿井内人员的分布情况、动态变化及潜在风险进行可视化。关键技术方面，无线通信协议的选择至关重要。低功耗广域网（LPWAN）、ZigBee 和蓝牙等无线通信协议已广泛应用于煤矿井下定位系统中，各自具有不同的优势。在系统设计中，还需要确保高效的电池管理，延长传感器的使用寿命。

3 煤矿井下人员定位系统的实现与优化

3.1 硬件设备的选择与布置

定位终端通常包括传感器模块、通信模块和电池模块。传感器模块一般采用惯性传感器、加速度传感器、地磁传感器等，能够精确捕捉矿工的动态变化。为了在复杂的矿井环境中确保定位精度，传感器需要具备较强的抗干扰能力，能够在高湿度、高温度及有气体干扰的环境中稳定运行。通信模块的选择也是关键，在井下环境中，无线通信技术通常采用 ZigBee、Wi-Fi 或 LPWAN 等低功耗无线网络技术。这些技术能够在较长距离内稳定传输数据，避免信号衰减问题。矿井内电池的供电问题必须得到妥善解决，传感器和通信模块需配备长效电池，保证长期运行。硬件设备的布置必须考虑到井下结构的复杂性和矿工的工作路线。在矿井内设置定位基站或传感器节点时，需要确保覆盖范围的均匀性，避免出现死角或信号盲区，确保实时监控的有效性。

3.2 软件平台的设计与开发

煤矿井下人员定位系统的软件平台需要具备数据采集、处理、显示和报警等多项功能。系统首先通过无线通信模块采集定位终端的数据，包括矿工的实时位置和环境参数。数据传输到监控中心后，软件平台将通过高效的定位算法对数据进行处理，得到准确的位置坐标^[2]。该平台需要具备良好的数据可视化功能，通过地图显示系统实时呈现矿工的位置信息，确保矿井管理者能够快速掌握井下人员的分布情况。为了提高应急处理效率，软件平台还需要实现多种报警机制，当定位系统检测到异常情况（如矿工进入危险区域或信号丢失）时，能够及时发出警报，并自动记录报警事件以备追溯分析。在系统开发过程中，平台应具有高扩展性，支持不同矿井环境的适配。系统界面应简单易用，支持多种设备接入和远程监控，确保管理人员能够在任何地方进行数据查看和决策。

3.3 系统优化与性能提升

定位精度的提升是优化工作的核心之一。在地下复杂环境中，信号受到多种因素的干扰，影响定位系统的精度和稳定性。采用多源数据融合算法可以大幅提升定位精度。通过结合惯性测量单元（IMU）与地磁传感器的数据，可以在 GPS 信号不稳定的情况下继续获得高精度的定位结果。通信系统的优化也是

提高系统性能的关键。无线信号在煤矿井下传输时容易受到阻碍，改进通信协议、调整基站布置以及采用信号中继技术能有效减少信号衰减和传输延迟。为了延长定位系统的运行时间，电池管理系统也需要进行优化，采用高效的电池充电和管理技术，延长矿工佩戴终端的电池使用寿命。为了应对突发的煤矿灾害，系统应具备更强的容错能力和自动恢复能力。通过定期进行系统性能测试、数据更新与算法升级，可以确保系统在长期使用中的稳定性和高效性。

4 系统实验与性能评估

4.1 实验设计与数据收集

为了验证煤矿井下人员定位系统的有效性与可靠性，实验设计必须充分考虑到井下环境的复杂性与系统的实际应用需求。实验通常需要在不同类型的煤矿环境中进行，包括不同的深度、通风条件、湿度和矿井布局。实验方案包括布设多个定位终端与基站，确保实验过程中能够模拟矿井内常见的工作情境。每个定位终端都装有传感器与通信模块，实时采集矿工的位置数据、环境参数以及设备状态信息。实验过程中，系统的响应速度、定位精度、信号传输稳定性以及设备的电池续航能力都是重要的测量指标。还需在不同区域和工况下进行数据收集，包括矿井的干燥区域、高湿区域及矿井通道的特殊位置，以确保系统在各种环境下的适应性与可靠性。数据收集过程中，必须考虑到可能出现的信号中断、人员走失等意外情况，以检验系统的应急响应能力。

4.2 实验结果与数据分析

实验结果的分析是评估煤矿井下定位系统性能的关键步骤。通过收集矿工在实验过程中的位置数据、系统反应时间及环境参数，可以对定位精度、系统稳定性及信号传输质量进行详细分析。定位精度通常通过对比系统实际定位数据与真实位置的差异来评估。在多次实验中，系统的定位误差应维持在一个合理范围内，才能表明系统具有足够的精度^[4]。对于信号传输质量的分析，主要通过测量信号的稳定性与延迟时间来判断，矿井内不同区域的信号强度和传输速度也是影响系统性能的重要因素。实验还需要分析系统在不同工作负荷下的表现，如多矿工同时定位时系统的处理能力与数据吞吐量。在实验过程中发现的任何问题，包括定位偏差、信号中断及设备故障等，都需要进行详细记录，并通过调整硬件配置、优化算法等手段进行改进，以提高系统的综合性能。

4.3 系统性能优化与提升

煤矿井下定位系统的性能优化涉及多个方面，主要包括定位精度、系统稳定性、数据传输效率和设备能耗等。为了提升定位精度，采用更为先进的数据融合技术与定位算法，如 Kalman 滤波、粒子滤波等，这些方法可以有效减少传感器误差和环境干扰对定位结果的影响。信号传输的优化也是提升系

统性能的关键。在矿井环境中，信号往往受到多重干扰，因此可以通过布置更多的基站、采用信号中继设备以及优化无线通信协议来增强信号覆盖范围与稳定性。为了提高系统的整体稳定性，还需加强系统的容错设计，如自动恢复机制、数据冗余存储与备份等，确保在设备发生故障时能够迅速恢复工作。电池管理与能效提升同样至关重要，系统需采用高效电池及智能电池管理技术，以延长传感器与定位终端的工作时间。通过定期的系统评估与调整，不断优化硬件配置与软件算法，提升煤矿井下定位系统的整体性能，确保其在实际应用中的高效运行与长期稳定性。

5 系统应用与推广前景

5.1 应用案例分析

煤矿井下人员定位系统在多个矿区的应用中，已经证明了其在提升安全管理、优化生产调度和提高应急响应效率方面的作用。在某煤矿试点应用中，定位系统成功实现了矿工位置的实时跟踪，尤其是在复杂的井下环境中，能够有效避免矿工进入危险区域。该系统还与气体检测、视频监控等其他安全设施相结合，形成了完整的安全监控体系。通过系统的实时数据分析，矿区管理者可以及时发现潜在的风险，避免了许多传统方式无法提前预警事故的发生。在应用过程中，系统不仅提高了矿井的安全性，还显著提升了矿工的工作效率，矿井管理也因此更加科学与精准。

5.2 系统推广的挑战与解决方案

煤矿井下定位系统在推广过程中面临许多挑战，首先是井

下环境的复杂性对系统性能的影响，尤其是在信号传输和定位精度上。矿井的深度、障碍物密集以及气候条件变化都可能导致系统的误差和中断。系统的高成本也是一个需要解决的问题^[5]。为了解决这些问题，技术上的不断优化显得至关重要。例如，采用更先进的信号传输技术和定位算法可以增强系统的抗干扰能力；而通过模块化设计和灵活配置，可以降低系统的建设和维护成本。同时，在推广过程中，需要加强对煤矿从业人员的培训，确保其能够熟练操作并最大程度发挥系统的效能。

5.3 未来发展方向与技术展望

技术的不断进步，煤矿井下人员定位系统未来将在多个方面得到进一步发展。随着5G通信技术的成熟，未来的定位系统可以实现更高速度的数据传输和更精确的定位服务。人工智能和大数据分析的应用将使得系统能够实时处理海量数据，提升预警和决策支持能力。未来，煤矿井下的定位系统将不仅仅是一个安全监控工具，更是一个集成智能化生产调度、环境监控和应急响应的综合平台。随着技术的不断突破，系统将具备更强的适应性，能够应对更加复杂多变的矿井环境，从而进一步提升矿井作业的安全性与生产效率。

6 结语

煤矿井下人员定位系统作为提升矿井安全和管理效率的重要手段，已显示出其在复杂地下环境中的巨大潜力。系统通过高精度定位技术和实时数据分析，能够有效保障矿工安全、优化作业管理，并为矿井的应急响应提供有力支持。随着技术的不断进步，系统将进一步提升定位精度与数据处理能力，为煤矿行业的安全管理和生产效率提升做出更大贡献。

参考文献：

- [1] 苏祥江.基于物联网的绿色智能煤矿安全监控系统设计[J].现代工业经济和信息化,2025,15(10):103-105.
- [2] 朱巍,李许伟.新安煤矿人员定位系统升级改造的研究与应用[J].煤炭科技,2024,45(01):91-96.
- [3] 朱思君.基于UWB技术的精确人员定位系统在姚桥煤矿的研究应用[J].能源技术与管理,2023,48(05):159-161+170.
- [4] 周鹏,张磊.精确人员定位系统在梅花井煤矿的应用[J].能源科技,2023,21(04):44-45+67.
- [5] 赵冬冬.关于煤矿安全监控系统的设计与应用研究[J].矿业装备,2023,(02):122-124.