

UWB 技术人员定位系统在煤矿中的应用

何晓晗

(晋能控股煤业集团北辛窑煤业有限公司,山西 忻州 034000)

摘要:北辛窑煤矿对不同技术条件下人员定位系统的定位效果进行对比分析后,在 UWB 技术的基础上引入了 SDS-TWR 测距算法,建立了基于 UWB 技术的北辛窑煤矿井下人员定位系统,并通过现场试验对不同位置、不同巷道条件下人员定位系统精度进行测试,测试结果中最大静态误差均小于 0.3 m。

关键词:人员定位系统;UWB 技术;SDS-TWR 测距算法;定位系统精度

中图分类号:TD76

文献标识码:A

文章编号:1006-2572(2025)01-0171-03

Application of Personnel Positioning System in Coal Mines Based on UWB Technology

He Xiaohan

(Beixinyao Coal Industry Co., Ltd., Jinneng Holdings Coal Industry Group., Xinzhou, Shanxi 034000)

Abstract: Based on the positioning effect of the personnel positioning system under different technical conditions in Beixinyao Colliery, the author introduces SDS-TWR ranging algorithm on the basis of UWB technology, establishes an underground personnel positioning system based on UWB technology, and tests the accuracy of the personnel positioning system under different positions and tunnel conditions through field experiments, with maximum static error less than 0.3 m.

Key words: personnel positioning system; UWB technology; SDS-TWR ranging algorithm; positioning system accuracy

随着我国煤矿信息化、智能化、数字化进程的快速推进,对煤矿生产安全的要求也越来越高,煤矿井下人员定位系统作为矿山安全避险系统的重要组成部分,对煤矿井下人员的安全至关重要^[1-3]。为了实时了解下井人员的位置信息,有效避免或降低矿井生产事故发生的概率和损害程度,保障下井人员的生命安全,提高矿井智能化管理水平^[4-6],逐步提升矿井智能化建设等级,北辛窑煤矿结合矿井实际情况,建立了基于UWB技术的井下人员定位系统。

1 人员定位技术原理

UWB技术是一种超带宽的无线载波技术,该技术可以通过 $ns \sim \mu s$ 的非正弦波窄脉冲来实现数据的高质量传输^[7],如图1所示。基于UWB技术的煤矿井下人员定位系统的工作原理是:

- 1)通过信号收发器来实现超带宽无线电信号的接收或传送。
- 2)通过测距数学模型中的相关算法计算两个节点之间的距离。
- 3)建立坐标系,将既有基站作为固定节点,将下井人员作为移动节点,建立空间位置方程,计算出移动目标的定位坐标。



图1 UWB 无线定位原理

矿井人员定位系统中UWB定位采用最多的方法是 t_{DOA} 方法,测距公式为:

$$D=c \times t_{DOA}$$

式中: D 为距离,m; c 为电磁波的传播速率,取 3.0×10^8 m/s; t_{DOA} 为信号传输的时间,s。

为了降低 t_{DOA} 定位方法造成的时延误差、计时误差和同步延时误差,在系统中引入了SDS-TWR测距算法,有效地降低了 t_{DOA} 定位方法带来的误差,达到提高人员定位精度的目的。SDS-TWR测距算法原理如图2所示。

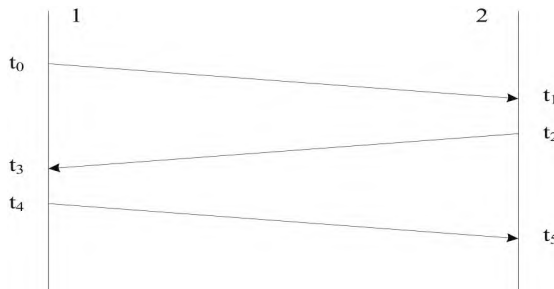


图2 SDS-TWR 测距法原理

在起始节点“1”处于 t_0 时间节点将测距信号发送给节点“2”,节点“2” t_1 时刻收到测距信号后对测距信号进行数据处理,并在 t_2 时刻将测距信号发送给 t_3 ,以此类推,通过发送信号和接收信号的差值,并对多组数据进行拟合,就可以实现测距功能,进而进行人员定位。测距公式如下:

$$d = \frac{(t_3 - t_0) - (t_2 - t_1) + (t_5 - t_2) - (t_4 - t_3)}{4}$$

式中: d 为距离,m; $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ 分别为信号传输的时间,s。

2 UWB超带宽技术优势

2.1 定位精度高

UWB超带宽技术是人员定位系统中公认的精确度最高的无线定位技术,也是应用最广的无线定位技术,定位精度最高达0.1 m,最低精度也不超过0.3 m,满足《煤矿井下人员定位系统通用技术条件》(AQ1119-2023)标准。

2.2 设备功耗低,使用寿命长

UWB超带宽技术是采用间歇性脉冲来发射出信号,脉冲持续时间仅为1 ns,与其他系统相比,耗电量更低、设备电池寿命更长,系统的维护和保养费用更低,寿命周期成本也更低。

2.3 抗干扰能力强

UWB超带宽技术采用的是调制扩频信号,设备的输出功率远低于普通设备的输出功率,系统处理能力更强,在发射信号时将微弱的无线电脉冲信号分散在宽阔的频带中,在频谱使用上更为灵活,可以在存在其他无线设备的环境中有效地避免干扰,因此具有更强的抗干扰能力,满足煤矿井下使用要求。

2.4 覆盖区域广

UWB超带宽技术区域覆盖半径可以达到500 m,在巷道众多,起伏落差大的煤矿井下能够使用尽可能少的设备满足区域覆盖要求,不仅可以提高设备利用率,减少基站数量,还能够节省巷道空间,降低人员定位系统成本。

2.5 穿透能力强

UWB超带宽技术发送的窄脉冲具有更强的穿透能力,在金属设备、非金属岩体水流较多的煤矿井下,能够在煤矿井下范围内实现无死角,能够有效地实现信号传输,保证信号传输的稳定性和及时性,大大地提高了人员定位系统的安全性和可靠性。

3 人员定位系统建立

北辛窑煤矿位于山西省宁武县,井田东西宽11.09 km,南北长12.59 km,井田面积53.298 km²,生产能力为4.00 Mt/a,属于大型矿井。为了满足北辛窑煤矿井下人员定位需要,结合北辛窑煤矿实际情况,建立了基于UWB技术的煤矿井下人员定位系统。该系统可以实现对井下人员的实时定位和跟踪功能,在紧急情况发生时能够迅速判断出井下人员的数量、相关人员的身份和所在位置,有助于北辛窑煤矿应急管理领导小组能够及时地作出决策,采取措施并及时救助,争取在最短的时间内、采取最有效的方法,把事故的损失和事故的影响程度降到最低。

3.1 人员定位系统标准

最大位移速度 ≥ 7 m/s;
最大静态误差 ≤ 0.3 m;
并发识别数量 ≥ 80 个;
最大传输距离 ≤ 400 m;
最大动态误差 ≤ 7.3 m;
最大监控容量 $\leq 8\ 000$ 个。

3.2 人员定位系统选型设计

北辛窑煤矿安装使用天地常州的KJ69J型矿用人员定位管理系统。该系统具有求救功能,对下井人员进行考勤,并对井下人员进行实时跟踪定位。在突发事件时迅速判断险区人员的数量、位置及身份,采取措施及时救助,把事故的损失和影响降到最低限度。系统的控制设备及显示终端放置位于矿调度室内,系统实行24 h不间断运行。系统安装主备研华服务器两台,Web服务器一台,实现了双机热备,数据实时上传,配备了双回路供电及8 h在线式不间断电源供电系统,接地和防雷设施,主要由KTG2A型交换机、KJF80.1型分站、KJF80.2A型读卡器、KJE37B型标识卡、KDW16B-18V隔爆兼本安不间断电源等组成。北辛窑煤矿人员定位系统构架如图3所示。

人员定位系统硬件设备包括标识卡、矿用本安读卡分站、唯一性检测装置和手持搜寻仪器。

(1)标识卡

标识卡作为定位终端,与定位基站配合实现人员的精确定位。基于UWB技术的矿用标识卡,能够在煤矿、金属及非金属等各类矿山或矿井等复杂环境下与矿用本安型读卡分站配合使用,实现人员或物品或车辆的精确定位。具备蜂鸣振动功能、RFID刷卡功能、一键报警功能等。标识卡型号为KJE37B,防护等级为IP68,防爆等级为Exib Mb,外壳材质为阻燃ABS材质,矿用标志为MA和KA,电

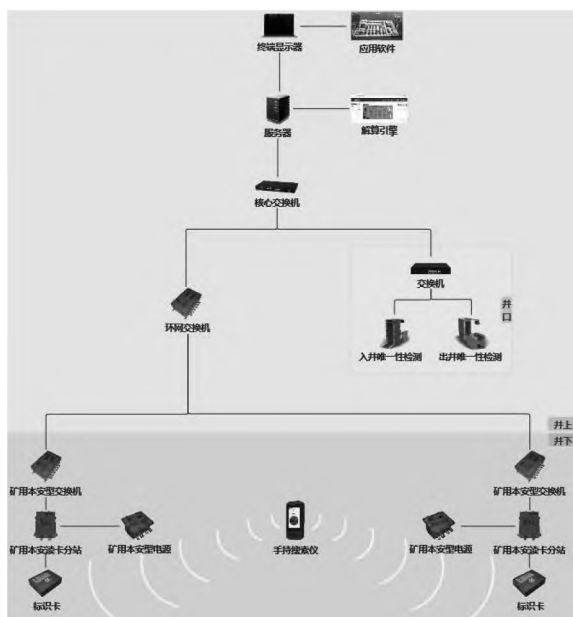


图3 北辛窑煤矿人员定位系统构架
池容量为1 000 mAh,工作温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 矿用本安读卡分站

采用矿用本安读卡分站作为定位基站,通过检测定位终端发出的测距信号计算实际位置。能够在煤矿井下的复杂环境下与矿用标识卡配合使用,实现人员、车辆的精确定位。所有的标识卡都以无线的方式连接到读卡分站上,在定位中起到判别位置的作用。该读卡分站采用高性能的射频电路设计,具备功耗低,稳定性强,支持网线和光纤进行数据上传,实现读卡分站与服务器之间的通讯。分站型号为KJF80.1,防护等级为IP68,防爆等级为Exib Mb,外壳材质为阻燃ABS材质,矿用标志为MA和KA,供电方式为DC10~25 V,工作温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 唯一性检测装置

人员定位系统通过出入井口的检测装置,识别确定作业人员身份,通过建立煤矿出入井规章制度,对行为不规范的人员进行相应的处罚,从而减少出入井人员的不规范行为。唯一性检测装置型号为KTG2A,防护等级为IP68,防爆等级为Exib Mb,材质为阻燃ABS材质,矿用标志为MA和KA,供电方式为AC220V,工作温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 手持搜寻仪

人员定位系统通过与定位终端(标识卡)交互测距信号,计算出搜寻仪和定位终端(标识卡)之间的距离,实现紧急情况下人员定位系统的搜救功能。搜寻仪可以通过与定位终端(标识卡)交互测距信号,计算出搜寻仪和定位终端(标识卡)之间的距离。具备报警上报、蜂鸣下发等功能。产品外壳使用ABS材料,设备安装可充电式电池。手持

搜寻仪型号为KJF80.2A,防护等级为IP67,防爆等级为Exib Mb,矿用标志为MA和KA,使用时长 $\geq 8\text{ h}$,充电时长 $\leq 6\text{ h}$,材质为阻燃ABS材质,电池容量为6 000 mAh,工作温度为 $-25^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 。

按照《煤矿井下作业人员管理系统使用规范(AQ1048-2007)》的要求,在矿井各个人员出入的井口、井下各硐室出入口、避难硐室出入口、井下巷道分支处等地点设置分站,可实现综采、掘进、开拓工作面的全覆盖,可查看下井职工的出勤及基本信息情况,实现对实际下井作业人员数量、分布及活动轨迹的实时掌握。实现监测持卡人员出入井、出入重点区域、出入避难硐室的和各个采掘工作面并满足监测持卡人员出入方向的要求。设计矿井安装读卡器48台,分站13台。人员定位系统在长直巷道中两台定位基站之间的最大距离为1 000 m,转弯巷道转弯点到定位基站之间的最大距离为500 m。分支巷道分支点到定位基站之间的距离为500 m。

4 现场试验

为了对人员定位系统的精度进行测试检验,针对直线巷道、转弯巷道和分支巷道分别抽取了一台测试电脑、一台定位读卡器和10张定位卡,对人员定位系统的测试精度进行检验,测试数据大于0.30 m则显示该组数据不合格,精度测试数据如表1所示。

表1 人员定位系统测试数据

卡号	巷道形式	实际距离/m					最大误差值/m
		100	200	300	400	500	
1~10	直线巷道	100.04	200.09	299.96	400.12	500.17	0.17
11~20	转弯巷道	100.09	199.91	300.13	400.19	500.26	0.26
21~30	分支巷道	100.06	199.89	300.08	400.15	500.24	0.24

通过表1可以看出,人员定位系统直线巷道、转弯巷道和分支巷道没有测试数据大于0.30 m的不合格情况,直线巷道人员定位系统最大误差值为0.17 m,转弯巷道人员定位系统最大误差值为0.26 m,分支巷道人员定位系统最大误差值为0.24 m,系统定位精度全部满足不超过0.30 m的精度要求,满足北辛窑煤矿人员定位系统使用要求和国家相关规定。

5 结论

1) 根据北辛窑煤矿的实际情况,在应用UWB的基础上,引入SDS-TWR测距算(下转178页)

和培训项目,提高矿工对避难设施的认识和使用能力。

6.3 行业标准的完善

(1)标准的定期审查和更新

定期审查和更新行业标准,以反映最新的科技发展和安全需求。

(2)强化标准的执行力度

加强对行业标准执行情况的监督和检查,确保煤矿企业严格遵守标准,及时整改不符合标准的避难设施。

7 结语

煤矿井下永久避难硐室的建设是煤矿安全体系中不可或缺的一环,对于保障矿工生命安全和提高煤矿整体安全水平具有至关重要的作用。通过现状分析可以看到,当前井工开采的煤矿尽管在避难硐室的设计、建设、使用和维护方面已经取得了一定的进展,但仍存在诸多问题需要解决。未来需要在科技创新、政策支持和行业标准的完善等方面进行深入探索,以进一步提升避难硐室的安全性和有效性。

避难硐室的建设对于提高煤矿事故灾害的安全保障作用是显而易见的。通过持续的技术创新、政策支持和行业标准的完善,可以显著提升避难硐室的安全性能,确保矿工在紧急情况下能够得到及时有效地保护。这不仅是对矿工生命安全的尊重和保障,也是煤矿企业可持续发展的基础。因此,应将避难硐室建设作为一项长期而重要的任务,不断推进和完善,以实现煤矿安全生产的长远目标。

参考文献:

- [1] 国家矿山安全监察局.煤矿安全规程[M].北京:煤炭工业出版社,2022.
- [2] 徐龙.矿井井下避难硐室设计与应用[J].能源技术与管理,2018,43(06):156-158.
- [3] 彭文,孔超.煤矿井下避难硐室建设趋势探讨[J].湖南安全与防灾,2020(06):48-49.

作者简介:项光辉(1969—),男,江西九江人,1990年毕业于山东矿业学院煤化工系,高级工程师,现从事煤矿紧急避险系统及装备研究。

收稿日期:2024-02-12

(上接 173 页)法,建立了北辛窑煤矿人员定位系统。该系统由标识卡、矿用本安读卡分站、唯一性检测装置和手持搜寻仪器组成,具有定位精度高、设备功耗低,使用寿命长、抗干扰能力强、覆盖区域广和穿透能力强的优点。

2)对北辛窑煤矿人员定位系统直线巷道、转弯巷道和分支巷道人员定位精度进行测试,测试结果显示直线巷道人员定位系统最大误差值为 0.17 m,转弯巷道人员定位系统最大误差值为 0.26 m,分支巷道人员定位系统最大误差值为 0.24 m,满足相关规定。

参考文献:

- [1] 孙继平.矿井人员位置监测技术[J].工矿自动化,2023,49(06):41-47.
- [2] 孙鑫.无线网络技术的矿井人员定位系统研究与应用

研究[J].内蒙古煤炭经济,2022(11):22-24.

- [3] 张海军,孙学成,赵小虎,等.煤矿井下 UWB 人员定位系统研究[J].工矿自动化,2022,48(02):29-34,41.
- [4] 李冰.关于煤矿井下人员定位系统的应用研究[J].机械管理开发,2021,36(04):266-268.
- [5] 赵林,孙增荣,王纪强,等.基于超宽带技术的矿用人员精准定位系统[J].山东科学,2021,34(02):48-53.
- [6] 贺洁茹,王茹,张岩松.矿井人员精确定位方法研究[J].煤矿机械,2020,41(12):31-34.
- [7] 孙哲星.煤矿井下人员精确定位方法研究[D].北京:中国矿业大学,2019.

作者简介:何晓晗(1990—),男,山西大同人,2017年毕业于大同大学采矿工程专业,助理工程师,现从事煤矿信息化管理工作。

收稿日期:2024-01-15