



文章编号:1671-251X(2020)05-0099-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020010004

# 矿井提升机自适应无线通信系统设计

阎东慧

(大同煤矿集团有限责任公司, 山西 大同 037003)



扫码移动阅读

**摘要:**目前,矿井提升机有线通信系统布线繁琐、检修复杂,而无线通信系统因发射功率、频率和天线辐射方向固定,存在无线通信距离有限、信号无法根据井筒形状和长度灵活覆盖、通信信号不稳定等弊端。针对上述问题,设计了一种矿井提升机自适应无线通信系统。该系统所有设备的数据均通过以太网接口输入,无线通信部分采用接收信号强度自动感知、工作频率和辐射波束自动调整的自适应天线,可以将无线摄像机、无线电话等矿用设备进行无线互连,实现提升机、罐耳、油缸、钢丝绳及天轮等主要设施的视频监视、数据监测及语音通信。当提升机运行时,系统根据立井井筒的结构、深度与尺寸,自动调整位于井筒顶部的天线的工作参数,使得天线能够始终对准移动中的提升机,通信设备的工作频率和功率始终处于最佳状态,保证了无线信号的良好覆盖。现场应用结果表明,提升机运行时地面调度人员能够实时监视天轮、井筒、罐耳及提升机内部状况,可随时与提升机内人员通话,图像清晰,语音通信流畅,且设备功耗低。

**关键词:**矿井提升机;无线通信;自适应天线;辐射波束;全双工通话;无线视频监控

中图分类号:TD633/655 文献标志码:A

Design of an adaptive wireless communication system for mine hoist

YAN Donghui

(Datong Coal Mine Group Co., Ltd., Datong 037003, China)

**Abstract:** At present, mine hoist's wired communication system is complicated in wiring and maintenance, however, due to fixed transmission power, frequency and radiation direction of antenna, the mine hoist's wireless communication system has disadvantages of limited wireless communication distance, the signal cannot be flexibly covered according to shape and length of shaft, and communication signal is unstable. In view of the above problems, an adaptive wireless communication system for mine hoist was designed. The data of all equipments in the system is input through Ethernet interface, and wireless communication part adopts the adaptive antenna with automatic sensing of received signal strength, automatic adjustment of working frequency and radiation beam, which can wirelessly interconnect wireless camera, wireless telephone and other mine-used equipments, so as to realize video monitoring, data monitoring and voice communication of main equipments such as hoist, cage ear, oil cylinder, steel wire rope and hoisting sheave. When the hoist is in operating, the system can automatically adjust working parameters of the antenna located at the top of the shaft according to structure, depth and size of vertical shaft, so that the antenna can always be aligned with the moving hoist, communications equipment

收稿日期:2020-01-02;修回日期:2020-05-06;责任编辑:张强。

基金项目:大同煤矿集团科技研究与开发项目(2016JD0015)。

作者简介:阎东慧(1984—),男,山西大同人,工程师,硕士,主要从事矿山机电设备的研究与应用工作,E-mail:y1984x@163.com。

引用格式:阎东慧. 矿井提升机自适应无线通信系统设计[J]. 工矿自动化, 2020, 46(5): 99-103.

YAN Donghui. Design of an adaptive wireless communication system for mine hoist [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(5): 99-103.

operating frequency and power is always in the best state, ensuring good coverage of wireless signals. The field application verifies when the hoist is in operating, the ground dispatching personnel can real-time monitor internal conditions of the hoisting sheave, shaft, cage ears and hoist, and can realize telephone and broadcasting with the relevant personnel in the cage at any time, the image is clear, the voice communication is smooth, and the equipment power consumption is low.

**Key words:** mine hoist; wireless communication; adaptive antenna; radiation beam; full duplex call; wireless video monitoring

## 0 引言

矿井提升机沿井筒提升煤炭、矸石、下放物料、升降人员和设备<sup>[1-2]</sup>,频繁的启停导致提升机电动机、减速器、滚筒和天轮等部件极易发生故障<sup>[3-4]</sup>,所以对提升机的运行过程和运行状态进行监测尤为重要。文献[5]利用激光具有波长单一、光速快、测量时间间隔短、测量精度高的特点,实时测量提升机的方向、位置和速度。文献[6]设计了一种可以同时监测钢丝绳张力、断丝、罐道间距的动态监测系统,解决了传统监测系统使用范围单一的问题。文献[7]基于信息融合技术将多传感器获得的信息进行融合处理,建立了较为精确的提升机在线监测与故障诊断系统。文献[8]总结了立井提升用罐道测试的常用方法,比较了它们的原理、误差来源、测试精度及经济性等,介绍了常见缺陷的故障模型,综合分析了各种方法的优缺点和适用范围。但以上文献大多采用有线通信方式和光缆数据传输方式,其布线困难,设备安装不便,日常检修维护的工作量较大。

针对矿井提升机有线数据传输方式存在的问题,近些年国内不少学者研究了无线数据传输方式。文献[9]利用 GPRS/CDMA 网络实现了提升机监测数据的无线传输。文献[10]利用 GPRS 无线网络传输提升机监测数据,并利用神经网络技术对监测数据进行处理。文献[11-12]利用无线 WiFi 建立了提升机视频监控软件和音频通信软件。这些无线传输方式虽然避免了有线通信方式的弊端,但其发射功率与频率固定,天线辐射方向固定,导致了无线通信距离有限,信号无法根据井筒形状和长度灵活覆盖,通信信号也无法稳定传输,设备功耗也较大,电磁波辐射能量效率不高,无法解决深部矿井的无线传输问题。

针对以上问题,本文以山西大同煤矿集团同发东周窑煤业有限公司副立井提升机为研究对象,设计了矿井提升机自适应无线通信系统,该系统的通信方式采用了工业以太网标准,所有设备的数据都通过以太网接口输入,无线通信部分采用了接收信号强度自动感知、工作频率和辐射波束自动调整的

自适应天线,可将无线摄像机、无线电话等矿用设备进行无线互连,实现了提升机、罐耳、油缸、钢丝绳及天轮等主要设施的视频监视、数据监测及语音通信。当提升机运行时,系统可根据立井井筒的结构、深度与尺寸,自动调整天线的工作频率和辐射波束,使得位于井筒顶部的天线能够始终对准移动中的提升机,通信设备的工作频率和功率始终处于最佳状态,无线信号的覆盖效率高,通信距离远。

## 1 自适应天线设计

自适应天线是整个自适应无线通信系统的关键设备,决定着通信距离的远近和数据传输的可靠性,其中天线的工作频率和辐射波束形状是 2 个重要的研究内容。

### 1.1 天线工作频率的自适应选择

立井井筒狭长、内壁不规则,结构各异,各种钢结构件较多,存在着严重的电磁干扰。为了实现高效率远距离通信,必须根据井筒结构选择最佳的工作频率。

笔者对同发东周窑煤业有限公司立井井筒进行了大量的实地测试,发现 1.5~2.7 GHz 频段内无线通信距离和速率最优,能够满足该公司立井无线通信要求。因此,把天线工作频率选定在这个频段内,同时,为了获得更好的辐射性能,将 1.5~2.7 GHz 设计成 1.5~1.8,1.9~2.1,2.3~2.5,2.5~2.7 GHz 4 个频段。

设计了可以自动选择频段的无线装置,该装置由 ARM 系列单片机和射频锁相环芯片组成,单片机与锁相环芯片通过串口实现数据交互。单片机控制射频锁相环的工作频率随不同环境条件下无线信号的强弱变化,实时选择合适的天线工作频率。

### 1.2 辐射波束的自适应调整

辐射波束受辐射单元数量、单元位置、单元激励的幅度、相位、结构等参数的影响。天线内置的 ARM 单片机根据接收到的信号强弱调节功分器和移相器的输出,进而调整辐射单元数量、单元位置、单元激励的幅度、相位、结构等参数,实现辐射波束的自动调整,其目的就是为了保证天线的最大波束

始终指向移动中的提升机。

提升机实际运行时,天线放置于井筒横梁顶部,根据主提升机和副提升机的信号强弱进行自动调整。当主提升机离天线较远时,接收到的主提升机信号就变弱,辐射波束就指向主提升机;当副提升机离天线较远时,接收到的副提升机信号就变弱,辐射波束就指向副提升机,如图1所示。

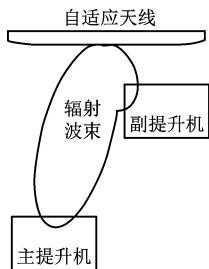


图1 自适应天线辐射波束

Fig.1 Adaptive antenna radiation beam

辐射波束始终对准距离最远的提升机,保证了辐射电磁波的主要能量始终对准距离最远的提升机,设备的功率实时处于最佳状态。

### 1.3 天线结构

天线由大小相同的4个单元天线齐平排列,间距为 $y_p$ ,上两层为大小不一的矩形辐射贴片,分别覆于厚1mm的FR4介质板上。由于馈电网络会对天线辐射产生很大影响,所以,将馈电网络置于第3层的背面,电路接地面位于第3层的上表面,实物加工时会在介质板之间加上塑料支柱作为支撑,结构如图2所示。

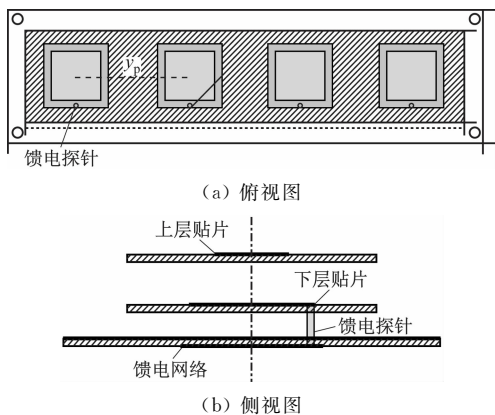


图2 自适应天线结构

Fig.2 Adaptive antenna structure

## 2 系统设计

矿井提升机自适应无线通信系统由前端采集设备、中间转接设备及地面调度室设备3个部分构成,如图3所示。

### 2.1 前端采集设备

前端采集设备由无线摄像仪、无线电话、自适应天线、矿用隔爆电池等防爆设备组成。在提升机内

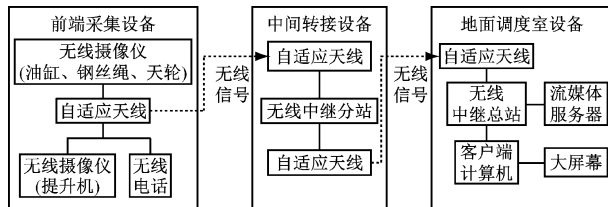


图3 自适应无线通信系统结构

部安装无线摄像仪与无线电话,用来监视提升机内部状况和通话。在油缸、钢丝绳、天轮处安装无线摄像仪,用来监视天轮、油缸、钢丝绳等设备的状况。无线摄像仪、无线电话由矿用隔爆电池供电。

前端采集设备采集的视频信号和音频信号通过自适应天线以无线信号的方式发送给中间转接设备,用来监视提升机内部和其他各监视点的状况。无线摄像仪、无线电话及自适应天线技术参数见表1—表3。

表1 无线摄像仪技术参数

Table 1 Technical parameters of wireless camera

供电电压/V	发射功率/(dB·m)	夜视功能	最高分辨率/ppi	无线传输速率/(Mbit·s <sup>-1</sup> )
12	20	有	1 920×1 080	10~100

表2 无线电话技术参数

Table 2 Technical parameters of radiotelephone

供电电压/V	发射功率/(dB·m)	声音强度/dB	通信方式	无线传输速率/(Mbit·s <sup>-1</sup> )
12	20	90	全双工	10~100

表3 自适应天线技术参数

Table 3 Technical parameters of adaptive antenna

增益/dB	功率/W	射频接口	极化形式
20	100	N型	双极化

### 2.2 中间转接设备

中间转接设备由无线中继分站(负责收集、处理信息)、自适应天线、矿用隔爆电源组成,安装于井筒顶部横梁处。其主要作用是保证立井井筒内无线信号的无盲区覆盖和将前端采集设备采集的信息以无线信号的方式发射至地面调度室。无线中继分站技术参数见表4。

表4 无线中继分站技术参数

Table 4 Technical parameters of wireless relay substation

供电电压/V	发射功率/(dB·m)	接受灵敏度/(dB·m)	通信距离/km	无线传输速率/(Mbit·s <sup>-1</sup> )
12	20	-90	≥1	10~100

### 2.3 地面调度室设备

地面调度室设备由无线中继总站、自适应天线、

流媒体服务器、客户端计算机等组成,主要作用是将自适应天线接收到中间转接设备发来的前端设备的信息,通过无线中继总站分发给流媒体服务器、客户端计算机,然后进行处理。

### 3 系统功能

采用 Java 应用程序和 SQL Server 2005 数据库技术,基于 B/S 架构开发了矿井无线通信系统客户端软件,由视频电话、语音广播、广播预案、广播记录、数据监测、设备管理、视频回放等模块组成。客户端软件界面如图 4 所示。

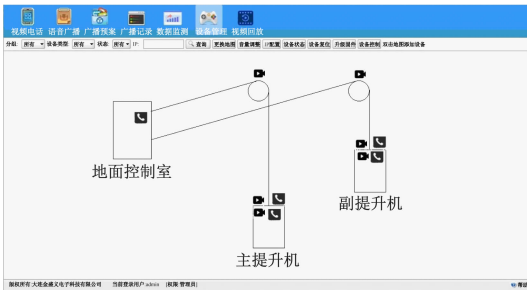


图 4 客户端软件界面

Fig. 4 Client software interface

(1) 通话功能。提升机内电话与调度室电话之间可进行双向通话,当提升机内电话与调度室通信中断后,主副提升机内的电话机之间也能通话。

(2) 视频监视功能。可对天轮、井筒、罐耳及提升机内部的状况进行实时监视并显示其状况,可以分屏显示、组合显示、单屏放大显示。支持录像检索、查询、回放等功能,回放支持快放、慢放、放大、缩小等功能。天轮监视画面、井筒监视画面、提升机内部监视画面如图 5—图 7 所示。



图 5 天轮监视画面

Fig. 5 Hoisting sheave monitoring picture

(3) 安全广播功能。紧急情况发生时可以实时全局紧急广播,躲避灾难发生。无紧急情况时,可以播放音乐和交接班广播。

(4) 设备管理功能。对摄像仪、电话、网桥、继电器等设备通过名称和对应的 IP 地址进行配置和管理,实现对网桥通断和继电器电量的检测以及继电器开关的控制。



图 6 井筒监视画面

Fig. 6 Shaft monitoring picture



图 7 提升机内部监视画面

Fig. 7 Hoist in-camera monitoring picture

此外,无线摄像仪具有红外补光功能。当环境照度过低时可自动开启红外补光功能,保证在无光环境下也能看清视频图像。

井下设备的电源由矿用隔爆电池提供,充一次电可使用 15 d 以上,所有井下设备均满足防爆标准。

### 4 现场应用

同发东周窑煤业有限公司副立井井筒直径为 8 m,装备一对可以直接进出 3 t 的小型无轨胶轮车非标宽提升机,担负小型材料、设备和人员的提升任务。提升机为型号为 JKMD-3.25×4(D)E(带减速器)落地式多绳提升机,滚筒直径为 3.25 m,滚筒宽度为 1.8 m,提升高度为 482.8 m,钢丝绳间距为 300 mm,天轮直径为 3.25 m,减速机传动比为 11.2,最大提升速度为 8.08 m/s,电动机额定速度为 546 r/min,电动机额定功率为 1 000 kW。

矿井提升机自适应无线通信系统于 2019 年 1 月在同发东周窑煤业有限公司投入了现场应用。利用便携式频谱仪测量井筒横梁顶部天线和提升机内设备的无线语音信号和无线视频信号的输出功率与频率,发现当提升机从井口运行至井底的过程中,井筒横梁顶部天线发射功率逐渐变大,变化范围为  $-60 \sim 20$  dB·m,工作频率逐渐变小,变化范围为  $1.5 \sim 2.7$  GHz。说明当提升机沿井筒运行时,自适应无线通信系统可针对不同的工况环境自动调整工作参数,使其始终处于最佳状态,无线信号的覆盖效率高,通信距离远。整个过程平均功耗低于 3 W,比固定功率的无线设备的功耗降低了 70%。此外,各

监视点图像清晰,语音通信流畅,无线传输无卡顿。系统视频监控画面如图8所示。



图8 视频监控画面

Fig.8 Video monitoring picture

## 5 结论

(1) 开发了集语音、视频、广播于一体的矿井提升机自适应无线通信系统,设计的自适应天线可根据井筒的结构、深度与尺寸自动调整工作参数,保证了无线信号的良好覆盖。现场应用结果表明,该系统可实时监测提升机的运行状况,各监测点图像清晰,语音通信流畅,且设备功耗低。

(2) 后期将进一步研究降低视频与通话设备功耗的方法,延长蓄电池的使用时间。

### 参考文献(References):

[1] 刘芬,孟淑琴. 矿井提升机振动监测系统的设计及其故障诊断[J]. 工矿自动化,2008,34(2):108-110.  
LIU Fen, MENG Shuqin. Design of vibration monitoring system of mine hoist and its fault diagnosis[J]. Industry and Mine Automation, 2008, 34(2):108-110.

[2] 常用根,江帆,陈潇. 矿井提升装备健康状态监测系统的设计[J]. 工矿自动化,2018,44(2):38-42.  
CHANG Yonggen, JIANG Fan, CHEN Xiao. Design of health condition monitoring system of mine hoisting equipment [J]. Industry and Mine Automation, 2018,44(2):38-42.

[3] 杨朝全,王式民,马文超,等. 矿井提升机故障特征参数诊断方法研究[J]. 煤矿机械,2015,36(6):300-303.  
YANG Chaoquan, WANG Shimin, MA Wenchao, et al. Diagnosis method research on mine hoist fault characteristic parameter [J]. Coal Mine Machinery, 2015,36(6):300-303.

[4] 赵旭荣,李娟莉,王学文. 基于本体的矿井提升机主轴系统故障诊断方法[J]. 工矿自动化,2019,45(1):95-99.  
ZHAO Xurong, LI Juanli, WANG Xuewen. Fault diagnosis method for mine hoist spindle system based on ontology [J]. Industry and Mine Automation, 2019,45(1):95-99.

[5] 张秀平. 矿井提升机监测系统研究与实现[J]. 工矿自动化,2007,33(1):78-79.  
ZHANG Xiuping. Study of monitoring system of mine hoist and its implementation[J]. Industry and Mine Automation,2007,33(1):78-79.

[6] 马光,史二听,曲立文,等. 煤矿主提升设备动态监测系统[J]. 工矿自动化,2011,37(12):93-95.  
MA Guang, SHI Erting, QU Liwen, et al. Dynamic monitoring system of coal mine main lifting equipment [J]. Industry and Mine Automation, 2011,37(12):93-95.

[7] 李娟莉,王健,杨兆建. 基于三层信息融合的提升机制动系统故障诊断[J]. 振动. 测试与诊断,2018,32(2):407-412.  
LI Juanli, WANG Jian, YANG Zhaojian. Fault diagnosing of mine hoister braking system based on three-layers information confusion [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2018, 32(2):407-412.

[8] 肖兴明,王鹏,黄继战. 立井罐道测试方法浅析[J]. 煤炭科学技术,2004,32(12):36-38.  
XIAO Xingming, WANG Peng, HUANG Jizhan. Brief analysis on test method for cage guide in mine shaft[J]. Coal Science and Technology,2004, 32(12):36-38.

[9] 魏志成,王勤贤,杨兆建. 基于GPRS/CDMA的矿井提升机关键运行数据传输系统设计[J]. 煤矿机械,2014,35(7):217-219.  
WEI Zhicheng, WANG Qinxian, YANG Zhaojian. Study of key operating data transmission system of mine hoist based on GPRS/CDMA [J]. Coal Mine Machinery, 2014,35(7):217-219.

[10] 李红,杨兆建,李娟莉. 基于GPRS的矿井提升机制动系统故障远程监测诊断系统研究[J]. 机械管理开发,2012(1):24-25.  
LI Hong, YANG Zhaojian, LI Juanli. Remote monitor and fault diagnose system for the mine hoist braking system based on GPRS technology[J]. Mechanical Management and Development,2012(1):24-25.

[11] 刘霞,高静,庞雪. 无线视频监控在罐笼提升过程中的应用[J]. 科技创新与应用,2017(15):136.  
LIU Xia, GAO Jing, PANG Xue. Application of wireless video monitoring in elevator promotion process[J]. Technology Innovation and Application, 2017(15):136.

[12] 杨景峰. 无线音视频系统在胡家河煤矿副立井提升中的研究与应用[J]. 中国煤炭,2015,41(2):78-80.  
YANG Jingfeng. Research and application of wireless audio and video system to auxiliary shaft hoisting in Hujiahe Coal Mine [J]. China Coal, 2015, 41(2):78-80.