

煤矿阀门类产品用无线模块选型

袁酉亮*

天地常州自动化股份有限公司, 江苏 213015

摘要: 随着我公司阀门应用范围的不断延伸, 需求不断地扩展, 在阀门设计之初存在的功能性不足也逐渐暴露, 其中经常遇到的我们所缺少的一个功能就是无线通信。本文通过分析煤矿阀门类产品用无线模块选型, 以期满足阀门应用范围的拓展需求。

关键词: 煤矿阀门; 无线模块; 选型

一、需求分析

无线通信与有线通信相比, 最大的优势在于设备布线方便, 不需要另加通信电缆。但缺点也很明显, 就是井下受干扰比较严重, 可靠性要远弱于有线通信, 因此井下无线通信很少用来做自动化中的控制主干网。一般在数据采集、人员定位等可靠性要求较弱的场合或移动设备上应用。

无线用于我部门相关产品时分为三个应用场合:

(一) 用于井下工作面尘源跟踪: 与DFH20/10配套, 主要用于在架间传递红外发射器的位置信息和各个阀门的状态;

(二) 用于大巷降尘的传感器数据向阀门或其他集控设备进行传输: 如GRH7的人员探测的信号、GUJ30中的触控信号以及后继的流量、压力等信号;

(三) 与智能手机连接, 用于设备的状态查看和参数设置。

二、应用场景分析

(一) 井下工作面尘源跟踪:

采煤机尘源跟踪喷雾降尘系统主要由显示用主控制箱(ZP127-Z(A))、红外发射器、红外接收器、DFH20、电源电缆、通讯电缆、供水管路(高压胶管)、喷嘴及其他必要设备组成。

系统基本功能应包括: 喷雾参数设定功能, 可以设置喷雾数量、范围等; 无线及有线通讯传输功能; 参数存储、显示、指示及故障自诊断功能; 以及环境参数采集功能(如可采集粉尘浓度); 采煤机位置信息监测; 跟踪及喷雾控制功能, 执行设定的喷雾参数。

如果为减少工作面的线缆连接, 提高安装便捷和可维护性, 主控箱与DFH20之间需要通过无线方式进行数据传输, 而DFH20的电源由所在支架的矿灯电源或后备电池供电。

无线传输方式:

在尘源跟踪无线通信过程中, 由于工作面狭长, 金属障碍物多, 无线节点呈线性排列, 相邻之间距离10 m左右, 无线节点数量多(一般数量在30~120个), 无线模块不可能从机尾直接将信号发送到机头。为提高通信效率, 减少吞吐量, 系统将采用逐级递传(如图1)、广播发送(如图2)、跳跃传递(如图3)和红外发射器转发(如图4)等方式相结合的模式进行传输数据。

*通讯作者: 袁酉亮, 1981年9月, 男, 汉族, 江苏常州人, 现任天地常州自动化股份有限公司研发人员, 中级工程师, 硕士。研究方向: 矿井自动化, 无线通信。

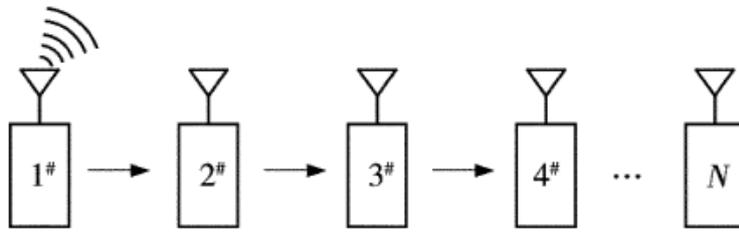


图1 数据逐级递传模式

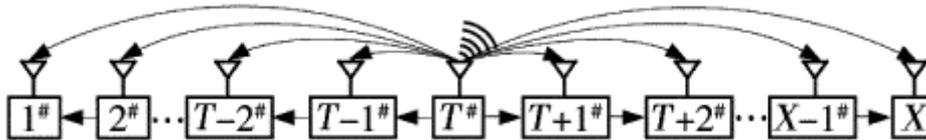


图2 数据广播模式

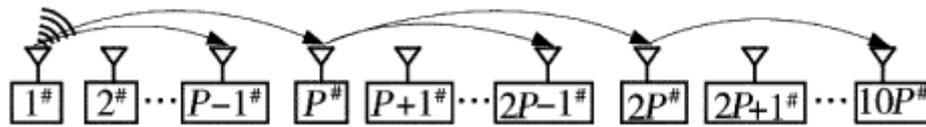


图3 数据跳跃传递模式

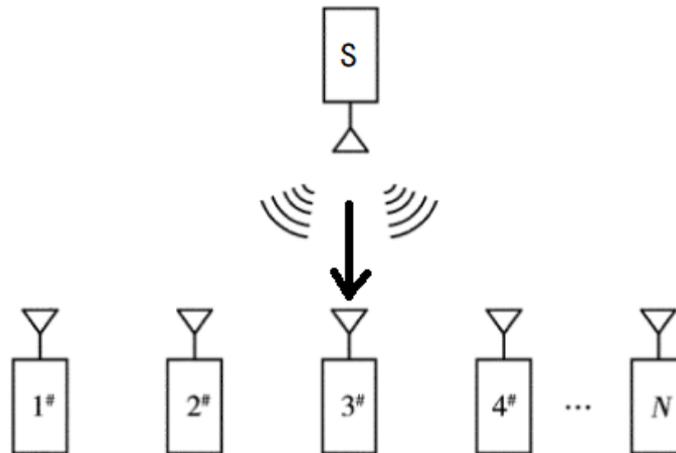


图4 红外发射器转发模式

由此看出，无线模块应用到尘源跟踪时，需要满足如下几个条件：①低功耗：静态电流小于10 mA②多跳点（100个以上）③传输距离不小于20 m。

（二）井下大巷阀门用（数据采集）：

大巷主要有喷雾降尘系统和ZJK系列阀门，喷雾降尘系统主要由喷雾降尘主控箱（ZP127-Z(A)或DFH20）、红外收发器或红外热释或震动传感器及其他必要设备组成；ZJK系列阀门以单设备或执行装置为主。

系统基本功能应包括：喷雾参数设定功能，可以设置喷雾时间等；无线及有线通讯传输功能；参数存储、显示、指示及故障自诊断功能；以及环境参数采集功能（如可采集粉尘浓度）。

如果为减少大巷喷雾降尘系统线缆连接，一般由电池供电的DFH20和电池供电的红外收发器或红外热释或震动传感器组成，DFH20和传感器之间采用无线连接方式且有较小的无线上传的应用。

无线传输方式：

在大巷喷雾降尘系统中，煤矿井下移动通信环境主要以巷道为主。井下巷道具有弯道、分支并且是纵向延伸的。

一般无线收发均在巷道的可视范围内进行，距离受巷道直线部分的长度和无线功率限制，以及目前设备的应用范围，一般不超过200 m，可采用星形连接方式（如图5）。如果需要在在大巷支路处架设则需要无线中继（如图6）。

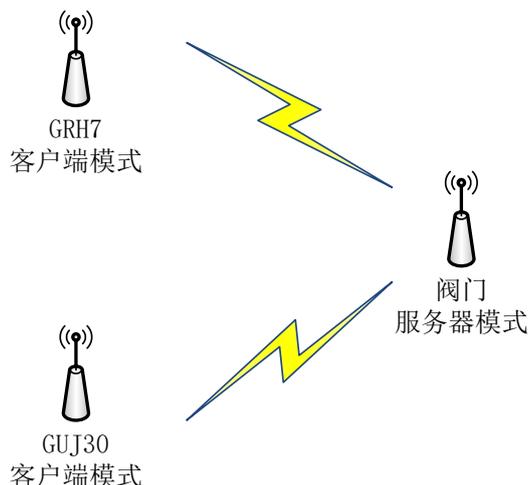


图5 星形连接

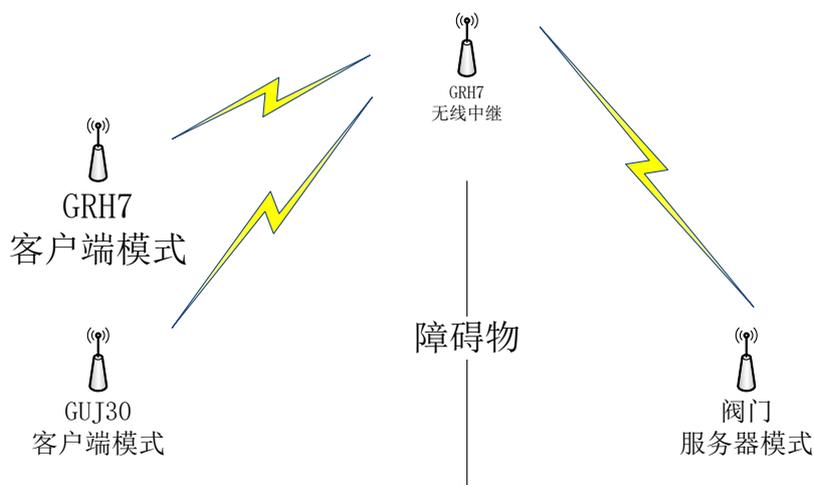


图6 无线中继方式连接

由此看出，无线模块应用到大巷时，需要满足如下几个条件：①低功耗：静态电流小于10 mA②多跳点（3个以上）③传输距离不小于50 m。④兼容本公司其他无线设备。

（三）参数设置

设备的参数可通过无线通道进行设置，用于设置参数的设备一般为矿用手机，运行安卓系统，安卓系统的手机最常用的无线连接方式是蓝牙或Wi-Fi。

三、无线频率的选择

（一）井下工作面尘源跟踪：

尘源跟踪所需要的是多点接力传输的无线模块，组成的网络为链状网，地面多用于路灯等无线控制。其中除首尾两个无线模块外，链路中的每个模块都相当于一个路由器，每个无线模块不仅自己产生数据，还要需要作为路由器转发其他设备的数据^[1]。

参考《煤矿工作面无线信号耦合规律分析》，我们获得无线模块的布局 and 距离等参数如下表1：

表1 无线模块的布局和距离等参数

参数	值
网络范围(长×宽)/(m×m)	200×2
节点数	20
节点最大通信半径/m	20
液压支架排距/m	1
接收信号阈值	4.80631×10^{-7}
探测载波阈值	4.36×10^{-7}
Sink 节点位置/(m,m)	(100,10)
发射功率/W	0.281 838 15
模型	Shadowing

其中符合上表的433 MHz和2.4 G两个频段的无线模块市场上都有出售，常见的Wi-Fi和Zigbee协议也都带有多节点转发功能，但是对应的模块或协议都限制了数据转发的深度（就是数据层层转发次数），我们依据这个有如下几个无线方案备选：

1. 如果采用Wi-Fi协议，转发次数（节点深度）最大为5，不满足我们的传输要求，排除。
2. 采用Zigbee协议，目前市场上可直接采购到的模块路由节点深度最大为22，Zigbee协议深度可按我们的要求定制，但目前不知能否达到120。
3. 采用自定义协议，自己设计转发，优势在于协议完全由自己掌握，路由深度不受限制，缺点是需要一段时间的调试和稳定期。
4. 目前市场上用于短距离通信较为常见的为433和2.4 G两个频段，根据调研结果，井下工作面这两个频段都有应用经验，其中2.4 G频段应用较多。以下表2为两个频段的优劣对比表。从表中可以看出，2.4 G和433 MHz各有优劣，但2.4 G的频段应用比较符合我部门目前的使用要求，另外公司实际的应用中2.4 G的应用比较广泛。

表2 两个频段的优劣对比表

频率	433MHz	2.4GHz
频率范围	433.05-434.79 MHz	2.4-2.5GHz
频带	窄 (1.75MHz)	宽 (100MHz)
空速	慢，由于受带宽和调制方式的限制	快，频带宽和调制方式灵活的优势
绕射能力	比较强，可以用在相对比较复杂的环境	较弱，常用于路由方式
通讯距离	同等参数下，点间距通讯距离更远	同等参数下，点间距通讯距离较近
穿透能力	穿透能力机较弱，信号的反射比较严重	穿透能力比较强
组网难度	比较难，目前没有开放的成熟的方案	容易，已有现成的协议和案例
产品体积	比较大，波长较长，天线尺寸较大	较小，波长较短，天线尺寸较小
接收灵敏度	比较高，接收机带宽窄噪声小	相对较低，接收机带宽宽噪声高

结论：井下工作面尘源跟踪尽量采用2.4 G频段模块，如果2.4 G的Zigbee模块不能满足我公司应用要求则选择2.4 G的透传模块NRF2401来实现，转发协议需要自定义。

(二) 井下大巷降尘（数据采集）：

井下大巷降尘主要采用星形组网模式，一般当作为控制器时用于对传感器的数据采集，无线模块需处于服务端模式，当作为传感器用于数据上传或受控时，无线模块处于客户端模式^[2]。当作为路由节点转发数据（中继）时，无线模块既处于客户端模式又处于服务端（AP）模式。我们依据这些要求有如下表3几个无线方案备选：

表3 无线方案备选

	频段	中继功能	网络实现难度	接入公司无线主传输网络
ZigBee	2.4 G	是	易	否
蓝牙		否	易	否
Wi-Fi		是	易	是
NRF模块		是（自定义协议）	难	否
LoRa及其他433 MHz模块	433 MHz	是（自定义协议）	难	否

由于井下大巷大部分为近似为直线矩形，利用巷道模式理论对井下无线电波传播的影响因素分析。在矩形空直巷道中，随着频率的增加，电波的衰减率将减小，巷道壁粗糙情况下同样如此（参见《煤矿井下有限空间无线电波传播特性研究》），因此应采用较高的频率在大巷进行无线传输，考虑到网络实现的容易程度和网络兼容性，建议采用2.4 G的Wi-Fi进行组网。

以下表4为模拟矿井巷道作为测试地点，该巷道总长度约300 m，巷道宽约10 m，高约4 m，相对实际的矿井巷道，巷道较平直。测试前在巷道每20 m标定一个测试点，然后组建系统进行的测试。

表4 模拟矿井巷道测试地点

● 关键 AP 00:15:e9:ee:88:66 [H3-C] 评估结果					
测试项目	指标	测试次数	测试均值	是否达标	标准参考值
覆盖测试	RSSI	15	-43 dBm	✓	≥ -75 dBm
	SNR	15	40 dB	✓	≥ 24 dB
干扰测试	同频干扰	15	-52 dBm -65 dBm	✗	≤ -80 dBm
	邻频干扰	15	-82 dB	✓	≤ -70 dBm
性能测试	Ping 成功率	10	100%	✓	≥ 97%
	Ping 时延	10	28 ms	✓	≤ 50 ms
	FTP 下载速率	5	618 kbps	✓	≥ 200 kbps
	FTP 上传速率	5	320 kbps	✓	≥ 200 kbps
	HTTP 访问时延	10	2.6 s	✓	≤ 10 s
	HTTP 访问成功率	10	100%	✓	≥ 90%

结论：井下大巷降尘或数据无线上传可采用2.4 G频段Wi-Fi模块。

(三) 与智能手机连接，用于设备的状态查看和参数设置

与智能手机连接主要采用点对点模式，手机作为客户端，而无线模块需处于服务端模式，通信距离一般不超过2 m，由于手机常见的无线通信方式只有蓝牙或Wi-Fi，因此为了方便无线模块应采用蓝牙或Wi-Fi其中一种进行通信^[3]。

当采用蓝牙通信时，无线模块处于服务端，手机通过自带蓝牙搜索到该蓝牙设备后进行主动连接，连接成功后即

可通过App进行数据交互。

当采用Wi-Fi进行通信时，无线模块处于服务端，并启动AP功能，手机通过自带Wi-Fi搜索到该Wi-Fi热点后进行连接，连接成功即通过App进行数据交互^[4-5]。

由于上述两种无线方案均可满足功能需求，考虑到兼容无线数据采集功能，建议采用Wi-Fi方式。

结论：与智能手机连接应采用2.4G频段Wi-Fi模块。

四、无线模块选型

井下工作面尘源跟踪采用2.4 G无线模块，要求低功耗、通信距离不小于50 m，数据能实现透传、体积小、天线内置^[6-7]。因此建议选择Zigbee模块或目前人员定位卡采用的NRF2401，NRF2401模块除能满足尘源跟踪技术要求外，还是我公司一直在采购并使用的组件。

井下大巷通信和与智能手机连接时采用2.4 G的Wi-Fi模块，该模块目前流行的有两种芯片，对比如下表5：

表5 两种芯片内容对比

	ESP8266 (ESP-07S)	CC3200 (USR-C322)
电压	3.0~3.6 V	3.0~3.6 V
工作电流	71 mA	75 mA
待机电流	2 mA	3.5 mA
可编程	√	×
AP功能	√	√
STA功能	√	√
AP+STA功能	√	×
配置方式	AT+指令集，网页配置，自编程	AT+指令集，网页配置
售价	8元	47元
外形	16 mm×17 mm 	26.6 mm*18.2 mm 
研发中心推荐	√	×

很明显可以看出ESP8266方案无论从性能、经济和接受度上比CC3200要高。

五、结论

建议大巷通信采用2.4 G Wi-Fi方案，模块采用安信可的ESP8266（ESP-07，同时具有陶瓷天线和SMA天线座）。

工作面通信采用Zigbee或2.4 G的模块（NRF2401）。

参考文献：

[1]邱宇.煤矿用智能阀门执行器的研究与设计[J].煤矿机械, 2019,40(1):10-12.
 [2]张冬冬.潞宁煤矿阀门井CO裂隙封堵紧急处理方法实践[J].江西煤炭科技, 2019,(1):180-182.
 [3]周福宝,刘春,夏同强,等.煤矿瓦斯智能抽采理论与调控策略[J].煤炭学报, 2019,44(8):2377-2387.
 [4]葛亮,井婷婷.缓闭阀门在斜井应急排水防水锤中的应用[J].煤矿安全, 2019,50(2):133-136.
 [5]李让.矿用防爆型电动阀门控制系统设计[J].电工材料, 2018,(4):43-46.
 [6]李兵伟.一种新型矿用防爆阀门电动调节装置的设计[J].陕西煤炭, 2018,37(6):40-43.
 [7]田潞飞.风泵自动阀门排水系统装置在高河煤矿的应用[J].山东煤炭科技, 2015,(9):130-131.