

# F5G技术在煤矿井下的应用

吴文臻 温良

## F5G 定义

F5G的英文全称是The 5th Generation Fixed Networks，意为第五代固定网络。F5G由中国提出，ETSI（欧洲电信标准协会）接纳，业界广泛参与。2019年6月，在上海移动大会上，中国信息通信研究院首次提出F5G的概念。2019年12月ETSI F5G立项通过，定义固定网络代际，并给出了F5G的愿景“光联万物”，为产业的发展指明了方向。F5G与5G有效协同，互相补全，以提升用户网络感知。网络迭代示意如图1所示。

## F5G 网络设备构成

F5G在煤矿中的应用主要涉及光环网头端设备（Optical Ring Head, ORH）、光环网终端设备（Optical Ring End, ORE）及无源光环网设备（Optical Ring Passive, ORP）3个产品。

备（Optical Ring End, ORE）及无源光环网设备（Optical Ring Passive, ORP）3个产品。

## 光环网头端设备

光环网头端设备的主要功能有以下2点：

（1）汇聚井下各种业务数据流，并上传到数据中心，同时把数据中心的控制数据传输到井下各设备。

（2）管理井下光环网终端设备。光环网头端设备网络端通过千兆、万兆等以太网接口与核心交换机通信，用户端提供工业光接口接入井下网络。

光环网头端设备（图2）为井下业务提供高可靠性的网络接入，光环网头端设备通过双归属或单归属冗余保护来保障业务的安全，当工作过程中工业光接口链路发生故障时，可以在较短的时间内

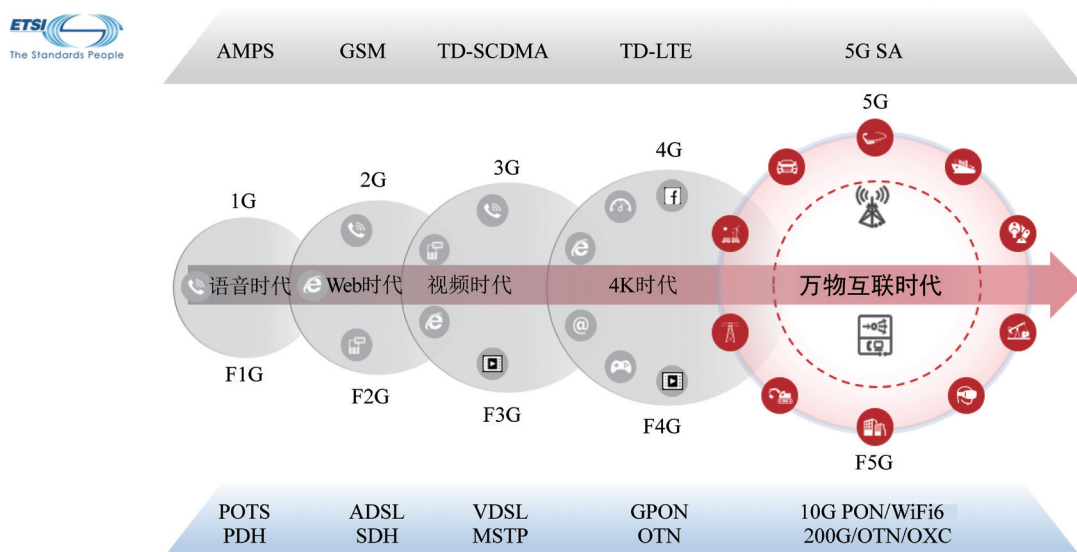


图1 网络迭代示意

(一般要求低于30 ms)倒换到备用端口,从而保障业务不发生中断。

### 光环网终端设备

光环网终端设备是工业光环网终端设备,安装在井下,必须具备防爆功能;因此,可以使用本安型光环网终端设备使井下网络更加简化。光环网终端设备网络端通过无源光环网设备分光器与光环网头端设备的工业光接口连接,用户端通过以太网口、工业串口(RS485)连接井下各终端设备,如井下视频摄像头,井下温度、湿度传感器等。光环网终端设备把井下各终端的数据,通过无源光环网设备上传到光环网头端设备,同时把光环网头端设备下载的数据传送给各终端设备。光环网终端设备可以通过无源光环网设备来实现远程业务发放、远程配置、远程升级,以减少工作人员井下操作。

光环网终端设备(图3)一般需要满足工业级要求,需支持工业级工作温度(一般为 $-40\sim+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),推荐支持双电源输入和TypeC双路上行配合光环网头端设备做冗余保护。光环网终端设备上行接口至少为万兆,以满足煤矿智能化建设的需求。用户端接口一般为以太网光口或电口,同时根据业务需求提供串口等工业接口。

### 无源光环网设备

无源光环网设备用于连接光环网头端设备和光环网终端设备,负责把1个光环网头端设备的工业光接口连接到多个光环网终端设备。无源光环网设备包含光纤光缆和分光器,矿井使用的无源光环网设备分光器一般为不等比分光,以支持矿井巷道和作业面链型的应用场景。无源光环网设备盒子一般支持级联,可满足矿井网络的灵活扩展。

由于煤矿井下含有瓦斯等可燃性气体,而熔纤机在熔纤过程中温度超过 $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,为确保安全,对现场熔纤的条件要求极为苛刻,因此建议无源光环网设备使用工厂预制的连接头,以保障设备



图2 光环网头端设备



图3 光环网终端设备



图4 无源光环网设备

的安全。此外,对于矿井作业面移动场景,无源光环网设备应支持即插即用,以便网络在井下的快速扩展和移动。

无源光环网设备(图4)所有部件均为无源设备,无需供电,无源光环网设备按照煤矿的安全规范进行阻燃、防静电设计,满足本安认证的要求。同时,无源光环网设备需要满足IP68防护等级,以适应井下粉尘和潮湿环境。

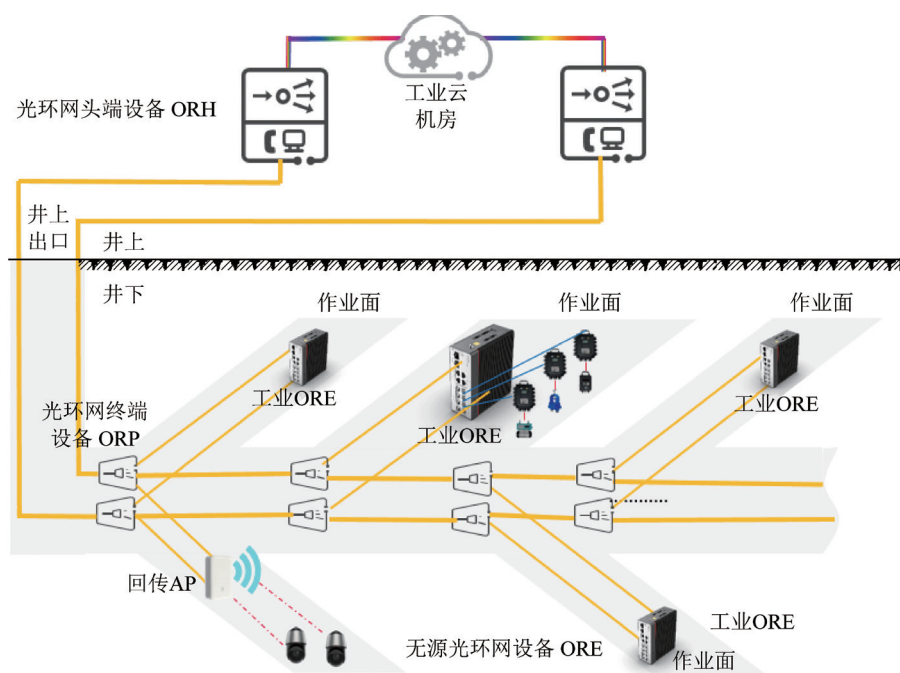


图5 矿井F5G网络架构

## 矿井 F5G 网络架构以及 F5G + 5G 融合组网架构

### 矿井 F5G 网络架构

矿井F5G采用环形结构提升网络可靠性，矿井F5G网络技术称为工业光环网（Industry Optical Ring, IOR）。F5G工业光环网由光环网头端设备、光环网终端设备、无源光环网设备 3部分组成。

整个矿井F5G网络架构如图5所示，光环网头端设备一般在井上，光环网终端设备在井下，通过无源光环网设备（光缆和分光器）连接。光环网终端设备对外出标准的以太网光口和电口，井下的设备如摄像头、传感器分站可直接接到光环网终端设备上。

### F5G + 5G 融合组网架构

F5G作为煤矿井下主干网络，将井下安全监控网、视频监控网、人员定位、5G网络统一接入。按照《煤矿安全规程》要求，安全监控网需要和其他网络接入到不同光纤芯上，实现分芯传输。F5G

作为5G的承载网，其本身可实现微秒级低时延，并为5G承载专门提供高精度时钟同步、业务隔离功能，5G 的BBU可直接接入到光环网终端设备（5G承载光环网终端设备一般为10 GE个光口），实现井下F5G + 5G一张网传输（图6）。井下F5G + 5G一张网具备以下2点优势：

（1）可使整个井下网络结构简化，井下多网统一部署。解决井下原来多张环网、网络重复建设、难以运维的问题。

（2）F5G网络井下有源设备只有光环网终端设备，井下设备更加安全、简单。

整体来看，F5G + 5G井下一张网解决了原来井下网络分散的问题，让多条“小路”融合成一条网络“高速公路”，使井下网络最终实现统一、融合，为煤矿智能化建设提供保障。

## 煤矿 F5G 应用生态建设

煤矿F5G的深入推广应用，需要全行业包括煤矿生产企业、集成商、网络设备供应商等协力合

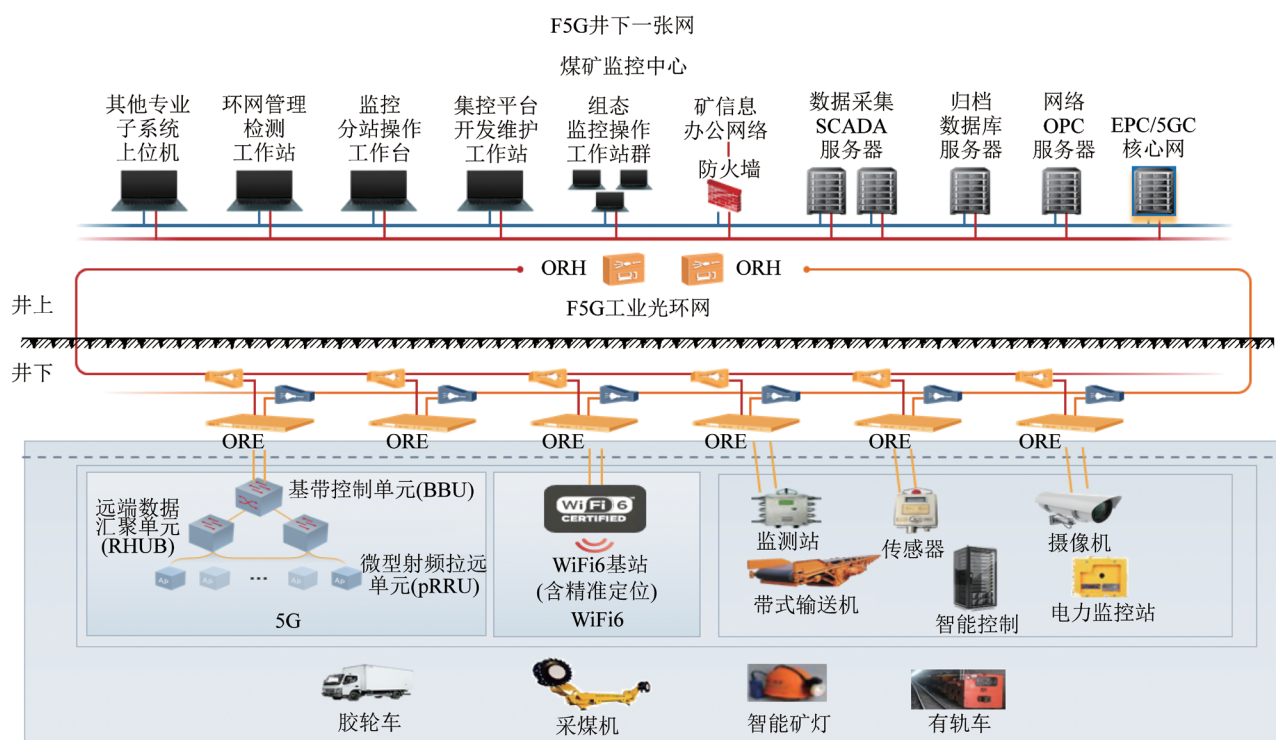


图6 F5G+5G网络架构

作，构建创新、协同、开放、合作的煤矿F5G应用生态，其中煤矿生产企业需要循序渐进，逐步推进F5G在矿井应用；集成商需完成F5G防爆认证，整合优化F5G煤矿井下的解决方案，提升矿用F5G系统可用性及适用性；网络设备供应商针对煤矿特点，研发适合矿用的F5G通信产品，如本安型光环网终端设备，以实现井下网络融合、

统一的目标，为煤矿智能化建设助力。

■ 责任编辑：李艾稣

#### 作者简介：

第一作者：吴文臻，高级工程师，硕士，现任煤炭科学技术研究院有限公司装备分院副院长。  
E-mail: wuwenzhen@ccrisc.cn

作者单位：煤炭科学技术研究院有限公司

## 热点问答

### 智能化煤矿通信网络需求

(1) 大带宽。主要面向视频监控、远程控制场景的实时数据回传以及监测监控数据传输，如为保证视频画面的清晰度和流畅性，以H.264标准编码时，一路1080p的摄像头至少需要4 Mbit/s带宽，设计要求应达到60 Mbit/s以上，在高清摄像头密集的环境要求会更高。

(2) 低时延/高可靠。主要面向远程控制、远程（无人）驾驶等场景的时延和可靠性需求，一般要求双向时延小于20 ms，可靠性达到99.99%或99.999%以上。

(3) 移动性。自动巡检、自动驾驶等都有移动性的要求。

(4) 数据安全。矿山网络业务具备典型的封闭生产区域特点，对数据安全性要求很高，数据不出园区，矿山通信网络业务与运营商公网业务必须保证有良好的隔离。

(5) 设备安全。井下设备必须通过安标国家矿用产品安全标志中心的认证，并获得相关的煤矿安全证书。

——摘自《中国煤矿智能化发展报告（2022年）》