

智能矿山信息综合承载网与网络切片路由器

孙继平



孙继平

教授，博士，博士生导师

原中国矿业大学（北京）副校长。获国家科技进步奖和技术发明奖二等奖4项（第1完成人3项）；作为第1完成人获省部级科技进步特等奖和一等奖8项；作为第1完成人主持制定中华人民共和国煤炭行业、安全生产行业和能源行业标准38项；作为第1发明人获国家授权发明专利100余项；主持制定《煤矿安全规程》第十一章“监控与通信”；以第一作者发表SCI、Ei检索论文100余篇，出版著作12部；作为国务院煤矿事故调查专家组组长参加10起煤矿特别重大事故调查工作。

煤炭是我国的主要能源,2021年我国煤炭产量41.3亿t,但同时煤炭开采是高危行业,煤矿事故时有发生,主要包括瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出、水灾、火灾、冲击地压、顶板冒落、爆破事故、机电事故、运输事故等。近年来,通过煤矿智能化、信息化和自动化建设,煤矿安全形势逐年好转,事故起数、死亡人数、百万吨死亡率均大幅下降。2021年全国煤矿共发生死亡事故91起,死亡人数178,百万吨死亡率0.044。

进一步减少煤矿井下作业人员数量,是煤矿安全生产和煤矿智能化发展的必然选择。煤矿井下设备无人操作、地面远程控制,需要将煤矿井下视频、音频、传感器和执行器等数据实时、准确地传输至地面调度控制中心,并将控制命令实时、准确地传输至被控设备。承载视频、远控等数据上传和下达的信息综合承载网,必须满足大带宽、低时延、高可靠等要求。因此,需对现有煤矿工业环网进行升级改造,以满足地面远控、5G等综合承载需求。

现有矿用工业环网存在的问题

5G、人工智能、大数据等技术在煤矿的推广应用,减少了煤矿井下作业人员数量和劳动强度,促进了煤矿安全生产。但现有矿用工业环网难以满足煤矿监控、人员和车辆定位、视频和音频监控、语音通信、5G等多业务综合承载要求,主要存在以下问题:

(1) 井下多网林立,建设成本高

当前,井下视频监控、安全监控、生产监控、人员定位、语音通信等不同业务系统采用不同的环网承载,造成井下多网林立。煤矿井下现有网络多为工业交换机组网,交换机不支持时间同步、网络切片等需求,不支持5G承载。

(2) 网络带宽小

当前,井下环网大多只有1 Gbit/s或10 Gbit/s,考虑到煤矿井下综采工作面和掘进工作面上百路高清

摄像头的规模部署,现有的环网带宽已难以满足要求。

(3) 维护困难

传统网络管理手段单一,网络出现故障时,往往需要运维人员下井插拔端口排查故障,故障定位和排除时间长、效率低。

煤矿智能化信息综合承载网技术要求

煤矿智能化信息综合承载网既是实现地面远控,减少井下作业人员数量的需要,也是煤矿监控、人员和车辆定位、视频和音频监控、语音通信、5G等多网合一的需要。煤矿智能化信息综合承载网应满足以下技术要求:

(1) 传输带宽大

以全景视频拼接的远控采煤为例,长度300 m的综采工作面大约需要200台防爆摄像机,每台4K高清矿用摄像机数据压缩后平均传输带宽按20 Mbit/s计算,1个综采工作面平均需要传输带宽约4 Gbit/s。此外,煤矿井下有多个采掘工作面,巷道长度大(巷道累计长度达几十千米),机电硐室多,机电设备和矿用车辆多,需要大量的矿用摄像机、传感器和执行器。因此,综合承载网所需的传输带宽将超过万兆。

(2) 传输时延小

传输时延是实现地面远程实时控制的关键,综合承载网传输时延越小越好。为满足地面远程实时控制的需要,综合承载网传输时延应不大于20 ms。

(3) 可靠性高

可靠性是实现地面远程可靠控制的关键,综合承载网可靠性越高越好,支撑远控的承载网可靠性应大于99.99%。

(4) 多业务综合承载

煤矿井下有监控、定位、音频、视频4大业务,对传输带宽、实时性、可靠性有不同的要求。因此,“一张网”综合承载矿井监控、定位、视频、音频和远控等业务,应按业务等级和不同需求分配通信链路。

(5) 本质安全防爆

煤矿井下所有防爆类型中，本质安全防爆安全性最好。因此，综合承载网设备应优先本质安全型防爆。

基于网络切片路由器的矿用综合承载网

在传统以太网的基础上，网络切片路由器具有5G承载、网络切片、带宽易扩展、可靠性高等特性，加持了基于IPV6的SRV6隧道技术、随流检测技术等，并引入了SDN网络控制器作为煤矿网络的神经中枢，使网络的业务开通、业务扩展及网络运维实现智能化。相对于传统的交换机环网，基于网络切片路由器的矿用综合承载网络（图1）具备以下优点：

(1) 支持5G承载

传统的煤矿工业交换机不支持同步以太网、

IEEE1588V2等协议，无法满足5G基站精确时间同步的要求，因此无法直接接入5G基站。基于网络切片路由器的矿用综合承载网具有时钟同步功能，支持5G承载。

(2) 网络切片，保障时延敏感业务的低时延

网络切片技术是解决煤矿井下多网林立问题的关键技术。网络切片可以在一张物理网络上切分出多个转发资源严格隔离的网络平面，不同的平面之间不仅可以做到逻辑隔离，业务信息的传输时延也能做到互不影响。网络切片技术可以将当前井下新建的5G承载网和井下众多工业以太环网合并为“一张网”，不同的切片网络分别承载安全 and 生产监控、人员和车辆定位、视频和音频监视、5G、语音通信等不同业务，这样可大幅降低井下网络设备数量，减小维护难度和工作量。

(3) 稳定可靠，拒绝网络风暴

传统的矿用网络通常采用纯二层的以太网，容易导致因人工配置错误或连线错误发生网络

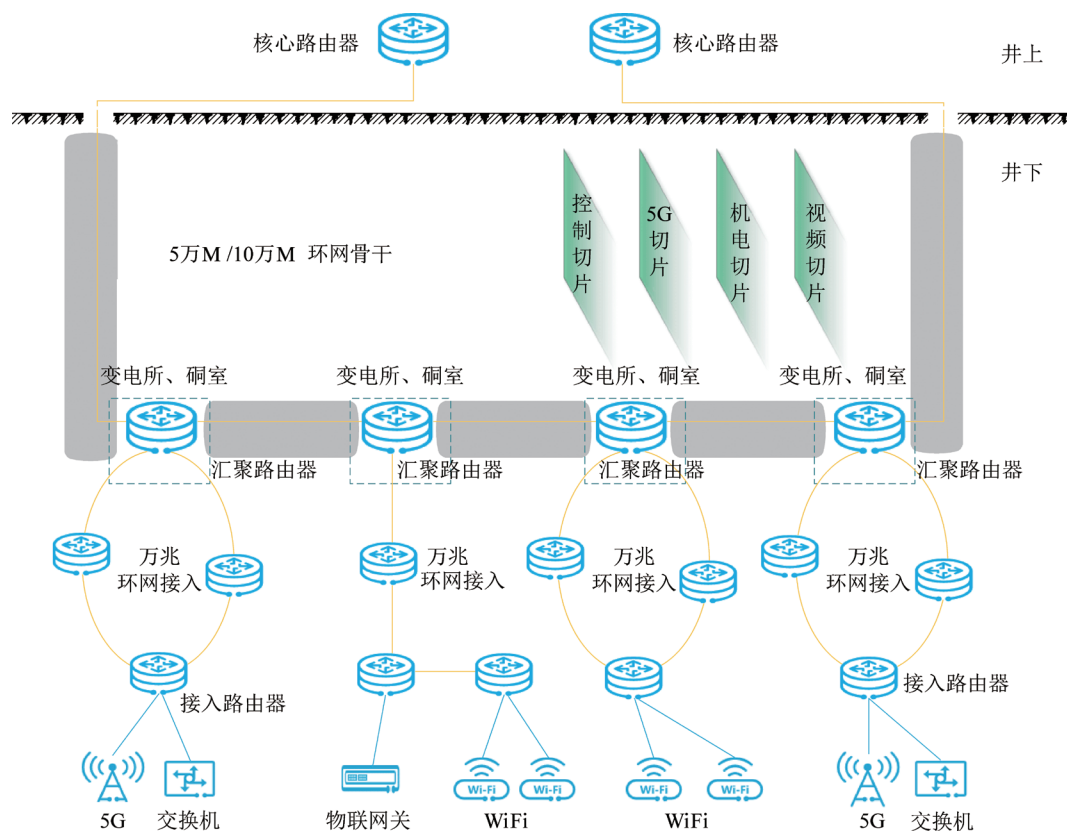


图1 基于切片路由器的矿用综合承载网络架构

风暴。而网络切片路由器是三层组网，业务流量不再是简单的以太网查MAC表转发，而是IP路由三层转发。路由协议可以保障网络无环路，因此可杜绝网路风暴的发生。

(4) 带宽大

传统矿用以太网交换机链路带宽一般不大于万兆，难以满足综采工作面视频拼接、主运智能检测等需求。网络切片路由器骨干环网的带宽可以达到5万M和10万M，可以满足综采工作面视频拼接、主运智能检测等需求。

(5) 本质安全型路由器防爆安全性好，便于安装维护。

现场应用

随着国内越来越多的煤矿企业选择网络切片

路由器构建智能矿山信息综合承载网络，5万M/10万M网络切片路由器建网模式逐渐成为行业共识。

国能神东煤炭集团有限责任公司上湾煤矿选择井下通信“一网一站”建设模式，使用网络切片路由器工业环网统一承载移动通信、人员定位、广播通信等业务，解决了井下系统多、分站多的难题，为井下安全生产提供保障。上湾煤矿“一网一站”井下路由器汇聚站点如图2所示。

潞安化工集团有限公司新元煤矿通过网络切片路由器建设井下“一张网”，支撑了全国首个煤矿5G网络建设及应用，在采掘工作面远程操作、机器人无人巡检、物联网应用、视频AI识别等方面开展了大量的原创性研究工作。新元煤矿井下环网汇聚站点如图3所示。

巴音孟克纳汇煤炭有限责任公司选择本安型网络切片路由器建设井下工业环网，承载工业控制、视频监控等业务，很好地支撑了中长期的智能



图2 上湾煤矿“一网一站”井下路由器汇聚站点



图3 新元煤矿井下环网汇聚站点



图4 本安网络切片路由器



隔爆箱



内置5万M/10万M路由器

图5 矿用井下5万/10万M网络切片路由器设备

化业务规划。巴音孟克纳汇煤矿本安网络切片路由器如图4所示。

上述煤矿企业在煤矿网络建设领域的成功实践，标志着煤矿企业对矿山网络建设重视程度的提高，网络规划更具前瞻性。5万M/10万M带宽的网络切片路由器（图5）正在成为智能矿山网络建设的趋势，也将为矿山智能化发展奠定ICT基础。

■ 责任编辑：李金松