



文章编号: 1671-251X(2024)04-0001-08

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.18185

煤矿信息综合承载网标准研究制定

孙继平，彭铭

(中国矿业大学(北京) 人工智能学院, 北京 100083)

摘要: 为满足煤矿监控、定位、视频、音频、远控、5G 等不同业务对时延、可靠性、带宽等指标的不同需求, 煤矿信息综合承载网应具有下列功能: ① 网络切片功能, 支持 FlexE 接口技术或信道化子接口技术, 将端口带宽资源划分到不同网络切片中; 不同网络切片之间的业务彼此隔离承载, 互不影响。② 网络切片在线带宽扩容功能, 带宽调整过程中业务不出现丢包。③ 网络切片设置掉电保护功能。④ 符合 IEEE 802.3 和 TCP/IP 协议, 支持 IPv6 协议和 IPv6 业务承载, 支持 IPv4、IPv6 业务同时承载。⑤ 支持万兆光接口、千兆光接口、10/100/1 000 Mbit/s 自适应接口, 核心与汇聚节点宜支持 5 万兆及以上光接口。⑥ 宜采用环形或双环结构。⑦ 业务质量实时监测功能, 实时监测指定业务的时延、抖动和丢包率情况。⑧ 1588v2 时钟同步功能, 支持 5G 基站业务接入。煤矿信息综合承载网的主要技术指标应满足下列要求: ① 光端口传输距离应 ≥ 20 km; 电端口传输距离应 ≥ 100 m。② 骨干网传输速率应 ≥ 10 Gbit/s; 接入网传输速率应 ≥ 1 Gbit/s。③ 不同帧长的丢包率均 $\leq 0.01\%$ (在 70% 网络流量负载条件下)。④ 单节点传输时延应 ≤ 1 ms (当以太网帧帧长度为 1 518 byte 时)。⑤ 节点转发抖动 $\leq 100 \mu\text{s}$ 。⑥ 单接口支持切片数量应 ≥ 5 。⑦ FlexE 接口技术最小带宽应 ≤ 1 Gbit/s; 信道化子接口技术最小带宽应 ≤ 2 Mbit/s。⑧ 网络重构自愈时间应 ≤ 50 ms。⑨ 在电网停电后, 承载网设备在备用电源下的连续工作时间应 ≥ 4 h。

关键词: 煤矿智能化; 煤矿信息; 承载网; 网络切片; FlexE

中图分类号: TD655

文献标志码: A

Research and formulation of coal mine information comprehensive bearer network standards

SUN Jiping, PENG Ming

(School of Artificial Intelligence, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to meet the different requirements of coal mine monitoring, positioning, video, audio, remote control, 5G and other services for latency, reliability, bandwidth and other indicators, the coal mine information comprehensive bearer network should have the following functions. ① The network slicing function supports FlexE interface technology or channelized sub interface technology, and divides port bandwidth resources into different network slices. The services between different network slices are isolated and carried by each other without affecting each other. ② The online bandwidth expansion function of network slicing ensures that there is no packet loss during the bandwidth adjustment process. ③ Network slices set the power-off protection function. ④ The network complies with IEEE 802.3 and TCP/IP protocols, supports IPv6 protocol and

收稿日期: 2024-04-09; 修回日期: 2024-04-11; 责任编辑: 盛男。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0801800)。

作者简介: 孙继平(1958—), 男, 山西翼城人, 教授, 博士, 博士研究生导师, 中国矿业大学(北京)原副校长; 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 9 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 48 项; 作为第 1 发明人获国家授权发明专利 130 余件; 主持制定《煤矿安全规程》第十一章“监控与通信”; 被 SCI 和 EI 检索的第 1 作者或独立完成论文 100 余篇; 作为第 1 作者或独立完成著作 12 部; 作为国务院煤矿事故调查专家组组长参加了 10 起煤矿特别重大事故调查工作; E-mail: sjp@cumtb.edu.cn。

引用格式: 孙继平, 彭铭. 煤矿信息综合承载网标准研究制定[J]. 工矿自动化, 2024, 50(4): 1-8.

SUN Jiping, PENG Ming. Research and formulation of coal mine information comprehensive bearer network standards[J]. Journal of Mine Automation, 2024, 50(4): 1-8.



扫码移动阅读

IPv6 service bearer, and supports both IPv4 and IPv6 services simultaneously. ⑤ The network supports 10GE optical interface, 1GE optical interface, 10/100/1 000 Mbit/s adaptive interface. The core and aggregation nodes should support optical interfaces of 50GE or above. ⑥ It is advisable to use a circular or double ring structure. ⑦ The real time monitoring function for business quality, monitors the delay, jitter, and packet loss rate of specified services in real time. ⑧ 1588v2 clock synchronization function supports 5G base station service access. The main technical indicators of the coal mine information comprehensive bearer network should meet the following requirements. ① The optical port transmission distance should be ≥ 20 km. The transmission distance of the electrical port should be ≥ 100 meters. ② The transmission rate of the backbone network should be ≥ 10 Gbit/s. The transmission rate of the access network should be ≥ 1 Gbit/s. ③ The packet loss rate for different frame lengths is $\leq 0.01\%$ (under 70% network traffic load conditions). ④ The single node transmission delay should be ≤ 1 ms (when the Ethernet frame length is 1 518 bytes). ⑤ Node forwarding jitter should be $\leq 100 \mu s$. ⑥ The number of slices supported by a single interface should be ≥ 5 . ⑦ The minimum bandwidth of FlexE interface technology should be ≤ 1 Gbit/s. The minimum bandwidth of channelized sub interface technology should be ≤ 2 Mbit/s. ⑧ The self-healing time of network reconstruction should be ≤ 50 ms. ⑨ After a power outage in the power grid, the continuous working time of the bearer network equipment under standby power supply should be ≥ 4 hours.

Key words: coal mine intelligence; coal mine information; bearer network; network slicing; FlexE

0 引言

煤矿信息综合承载网根据不同业务对时延、可靠性、带宽等的不同需求,通过网络物理层切片(以下简称网络切片)划分不同的信道,可同时承载监控、定位、视频、音频、远控、5G等业务的煤矿信息传输网络^[1-3],是煤矿智能化建设的关键。2022年,国家能源局综合司下达了“煤矿信息综合承载网通用技术规范”能源行业标准研究制定项目(项目编号:能源20220138),并确定由中国矿业大学(北京)为主要起草单位,负责标准的编写制定工作。起草单位共同组建成立了标准起草工作组,负责标准的有关技术研究及编制起草工作。中国矿业大学(北京)孙继平教授作为项目工作组组长,负责项目整体技术方案和指标的确定及起草工作。标准起草工作组通过多种途径广泛收集了与煤矿信息综合承载网有关的技术资料,全面掌握了现有煤矿信息综合承载网有关的应用和技术情况,在分析研究和试验验证的基础上,确定了煤矿信息综合承载网的技术要求、试验方法等内容,形成了《煤矿信息综合承载网》(征求意见稿)。本文根据《煤矿信息综合承载网》(征求意见稿)进行整理。

1 一般要求

煤矿信息综合承载网(以下简称承载网)应符合本文件和MT/T 1131—2011《矿用以太网》^[4]、GB/T 21671—2008《基于以太网技术的局域网系统验收测

评规范》^[5]、YD/T 1160—2001《接入网技术要求——基于以太网技术的宽带接入网》^[6]等标准的相关规定,承载网路由器应符合MT/T 1081—2008《矿用网络交换机》^[7]的规定,承载网中的其他设备应符合国家及行业相关标准的规定,并按照经规定程序批准的图样及文件制造和成套。

用于爆炸环境的承载网设备应是矿用防爆型,宜是矿用本质安全型,其输入输出信号应是本质安全型^[8]。承载网接入路由器应是矿用本质安全型产品,不应使用风扇散热。承载网入井线缆入井口处应具有防雷措施。

2 主要功能

1) 承载网应具有网络切片功能,支持FlexE接口技术^[9]或信道化子接口技术,将端口带宽资源划分到不同网络切片中^[10];不同网络切片之间的业务彼此隔离承载,互不影响,即如果网络切片A内数据拥塞丢包,不影响网络切片B数据转发;满足监控、定位^[11]、视频^[12]、音频、远控、5G等业务统一传输要求^[13]。网络切片应具有在线带宽扩容功能,带宽调整过程中业务不出现丢包。承载网应具有网络切片设置掉电保护功能,承载网设备掉电重启后网络切片设置保持不变,无需重新配置。

2) 承载网应符合IEEE 802.3和TCP/IP协议,应支持IPv6协议和IPv6业务承载,可支持IPv4、IPv6业务同时承载。承载网应支持万兆光接口、千兆光接口、10/100/1 000 Mbit/s自适应接口,核心与汇聚

节点宜支持5万兆及以上光接口。承载网宜采用环形或双环结构,如图1所示。承载网应具有业务质量实时监测功能,可实时监测指定业务的时延、抖动和丢包率情况。承载网应具有1588v2时钟同步功能,支持5G基站业务接入^[14]。

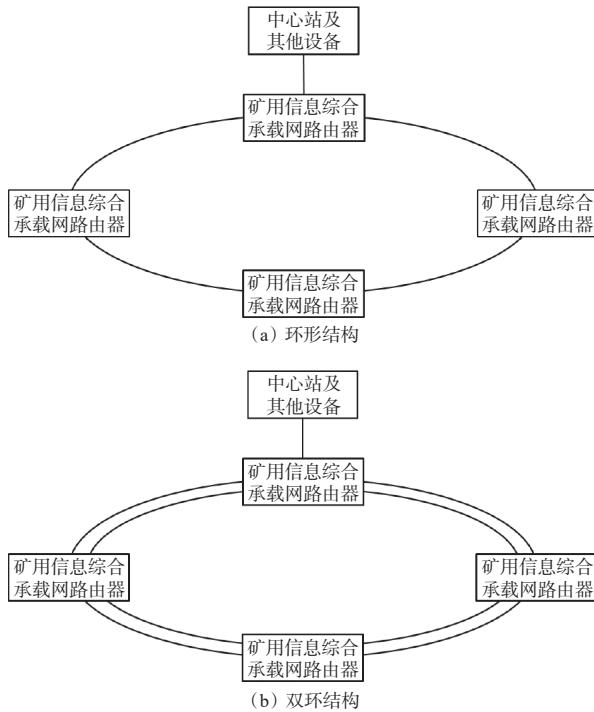


图1 承载网结构

Fig. 1 Bearer network structure

3) 承载网设备应具有3层路由功能^[15],支持虚拟局域网VLAN和虚拟专用网络VPN。承载网设备应具有初始化参数设置和掉电保护功能。承载网设备应可被承载网网管管理,应具有网络管理协议SNMP、Telemetry、Netconf等管理功能。承载网设备应具有故障诊断和故障指示功能。承载网设备应具有电源监测与指示功能。承载网设备应具有ACL数据报文过滤功能。承载网设备应具有CPU保护功能。

4) 承载网网管应具有网络切片规划和拓扑呈现功能,支持指定业务入网络切片。承载网网管应具有拓扑管理、告警管理、性能管理、配置管理等功能。承载网网管应具有远程配置下发功能,支持网络健康状态感知和用户运维,输出告警、报告等。承载网网管应具有业务拓扑可视和流量路径可视功能,支持设备免配置即插即用。承载网网管宜支持XML、SNMP、RESTful等北向接口,实现承载网网管和煤矿整体管理系统平台的对接。

3 主要技术指标

1) 根据采掘工作面到地面中心站的最远距离及

光纤插接损耗等,提出光端口传输距离应 $\geq 20\text{ km}$,电端口传输距离应 $\geq 100\text{ m}$ 。

2) 根据综采工作面远控带宽需求约1 Gbit/s和承载网技术现状等,提出承载网传输速率:骨干网传输速率应 $\geq 10\text{ Gbit/s}$;接入网传输速率应 $\geq 1\text{ Gbit/s}$ 。

3) 根据煤矿监控^[16]和远程控制等需求和承载网技术现状,提出承载网不同帧长的丢包率均 $\leq 0.01\%$ (在70%网络流量负载条件下)。

4) 根据煤矿监控和远程控制等需求^[17],以及承载网技术和综合承载网技术现状等,提出单节点传输时延应 $\leq 1\text{ ms}$ (以太网帧长度为1 518 byte时)。

5) 根据煤矿监控、定位、视频、音频、远控等需求^[18]和承载网技术现状,提出单节点转发抖动应 $\leq 100\text{ }\mu\text{s}$ 。

6) 分析研究表明,煤矿监控、定位、视频、音频、远控等不同业务,对带宽、时延、可靠性的需求不同。因此,根据煤矿业务需求和承载网技术现状等,提出单接口支持切片数量应 ≥ 5 。

7) 切片粒度越小,越便于用户配置。根据煤矿监控、定位、视频、音频、远控等需求和承载网技术现状^[19],提出网络切片带宽可按需调整,并满足下列要求:
① FlexE接口技术最小带宽应 $\leq 1\text{ Gbit/s}$ 。
② 信道化子接口技术最小带宽应 $\leq 2\text{ Mbit/s}$ 。

8) 根据煤矿监控、定位、视频、音频、远控等需求和综合承载网技术现状,提出网络重构自愈时间应 $\leq 50\text{ ms}$ 。

9) 根据煤矿井下供电情况,煤矿监控、定位、视频、音频、远控等需求和备用电源技术现状,提出电网停电后,承载网设备在备用电源下的连续工作时间应 $\geq 4\text{ h}$ 。

4 试验用仪器和设备及连通性测试

4.1 试验用仪器和设备

试验用光衰减器应能模拟光缆最大传输距离。试验用损伤仪应能模拟承载网带宽限制、时延、时延抖动、丢包、乱序、重复报文、误码、拥塞等网络异常状况。

试验用承载网性能测试工具应满足下列要求:
① 应具有承载网流量监听功能。
② 应具有承载网协议分析功能,能对承载网中的协议进行解码和流量分布统计。
③ 应具有承载网节点和拓扑自动发现功能,能够自动生成承载网节点列表,包括节点的媒体访问控制地址、IP地址和名称。
④ 应具有承载网流量仿真功能,可指定数据包的内容(IP地址、媒体访问控制地址)和数据包的长度,并可指定所产生流

量的大小。⑤应具有 RFC2544 网络性能测试,包括吞吐率、传输时延和丢包率测试功能。⑥应具有因特网包探索器 Ping 和 TraceRoute 测试功能。⑦应具有从承载网设备上获取简单网络管理协议 SNMP 数据功能。⑧应具有故障管理(如告警、定位、清除)和配置管理测试功能。⑨应具有测试结果分析及图表打印输出功能。⑩宜具有易于使用的图形用户界面和脚本功能,提供方便和用户友好的配置。

4.2 连通性测试

承载网连通性测试如图 2 所示,测试步骤如下:①将测试设备连接到被测网络的一个端口。②用测试工具对被测网络中的节点设备进行 10 批次因特网包探索器 Ping 测试,每次间隔 1 s,以测试网络连通性。③测试工具对其他端口进行测试,重复步骤②,直到遍历所有的测试节点设备。④检查所有端口是否全部联通,如果全部联通则判定系统连通性符合要求。

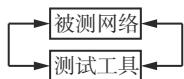


图 2 承载网连通性测试

Fig. 2 Connectivity test of bearer network

5 主要功能试验

5.1 网络切片功能试验

网络切片功能试验方法如下:①查看是否能配置 FlexE 接口或信道化子接口,按 YD/T 3992—2021《灵活以太网(FlexE)链路接口测试方法》^[20]的有关规定进行。②创建至少 2 个不同的网络切片,分别命名为网络切片 A 和网络切片 B 等。③在每个网络切片中配置不同的带宽资源,模拟不同业务的带宽需求。④在网络切片 A 中发送大量数据以模拟拥塞情况,查看网络切片 B 中的数据传输是否受影响。

5.2 网络切片的在线带宽扩容功能试验

网络切片的在线带宽扩容功能试验方法如下:①准备模拟业务数据生成工具,用于产生不同带宽的数据流。②查看是否有在线增加网络切片带宽的设置。③随机选择 1 个网络切片进行带宽调整,将带宽设置到更高或更低的数值,查看带宽调整过程中是否出现丢包。

5.3 网络切片设置掉电保护功能试验

网络切片设置掉电保护功能试验方法如下:①创建多个不同网络切片,设置各个网络切片的带宽等参数。②将承载网设备断电。③重新给承载网设备供电,查看承载网设备重启后网络切片的设

置是否保持不变。

5.4 IPv6 协议和 IPv6 业务承载及 IPv4 与 IPv6 同时承载功能试验

IPv6 协议和 IPv6 业务承载及 IPv4 与 IPv6 同时承载功能试验方法如下:①在承载网设备上启用 IPv6 协议,通过测试终端设备进行 IPv6 协议的 Internet 访问,查看网络连接是否正常。②查看承载网设备是否可以自动配置和手动配置 IPv6 地址,是否可以正确获取 IPv6 地址。③配置 IPv6 路由表,检查承载网设备是否能对 IPv6 路由支持和转发。④发送 IPv6 业务流量,如视频流、音频流等,查看承载网设备是否能够承载 IPv6 业务。⑤在承载网设备上同时启用 IPv4 和 IPv6 协议,测试承载网设备是否能够同时承载 IPv4 和 IPv6 业务。

5.5 接口功能试验

接口功能试验方法如下:①检查承载网设备是否可通过光接口和电接口通信,并测试接口速率是否符合要求,是否指示相应的通信状态。②断开承载网设备的光接口和电接口,检查是否指示不通信状态。

5.6 环形或双环结构功能试验

环形或双环结构功能试验方法如下:①对于环型结构,断开任意 2 个承载网路由器间的连接,检查全部受试承载网路由器是否均能与中心站正确通信,并指示相应的通信状态。②对于双环结构,先拆除 1 个环路,检查全部受试承载网路由器是否均能与中心站正确通信,并指示相应的通信状态;恢复已拆除环路,拆除另一环路,检查全部受试承载网路由器是否均能与中心站正确通信,并指示相应的通信状态。

5.7 业务质量实时检测功能试验

业务质量实时检测功能试验方法如下:打开业务质量实时检测界面,查看是否显示指定业务的时延、抖动和丢包率情况。

5.8 1588v2 时钟同步和 5G 基站业务接入功能试验

1588v2 时钟同步试验方法如下:①使用支持 1588v2 时钟同步测试设备或软件,向承载网设备发送 1588v2 时钟同步请求。②查看承载网设备的时钟同步状态,包括时钟偏移、时钟抖动等指标。③查看时钟同步是否成功,检查承载网设备与外部时钟源是否保持同步。

5G 基站业务接入功能试验方法如下:①配置和启动 5G 基站,确保其与承载网设备连接正常。②使用网络测试工具 Ping,测试承载网设备与 5G 基站是否 Ping 通,检查承载网设备是否能够与 5G 基

站正常通信。

5.9 3层路由、虚拟局域网 VLAN 和虚拟专用网络 VPN 功能试验

3层路由功能试验方法如下:①配置多个子网和路由协议功能,模拟不同子网之间通过3层路由实现路由互通。②使用网络测试工具Ping在不同子网之间进行连通性测试,检查承载网设备是否能够进行3层路由转发。

虚拟局域网 VLAN 功能试验按 YD/T 1240—2002《接入网设备测试方法——基于以太网技术的宽带接入网设备》^[21]和 YD/T 3918—2021《接入网设备测试方法 支持网络切片的光线路终端(OLT)》^[22]的有关规定进行。

虚拟专用网络 VPN 功能试验按 YD/T 4609—2023《切片分组网络(SPN)南向接口测试方法》^[23]的有关规定进行。

5.10 初始化参数设置和掉电保护功能试验

初始化参数设置和掉电保护功能试验方法如下:①开启承载网设备,并进入初始化参数设置界面。②尝试设置不同的参数,并检查承载网设备是否能够正确保存和加载这些参数。③切断承载网设备电源,2 min 后重新复电,检查所设置的各种参数是否保持不变。

5.11 网管功能试验

网管功能试验按 YD/T 1240—2002 的有关规定进行。

5.12 故障诊断和故障指示功能试验

故障诊断和故障指示功能试验方法如下:承载网设备设置端口、板卡等故障,检查是否能正确诊断故障,是否有相应故障指示。

5.13 电源监测与指示功能试验

电源监测与指示功能试验方法如下:承载网设备工作正常,断开电源,检查是否有相应的电源指示。

5.14 ACL 数据报文过滤功能试验

ACL 数据报文过滤功能试验方法如下:①承载网设备设置 1 个或多个 ACL 规则。②发送符合 ACL 规则的数据报文,并检查是否按照规则的定义被允许。③发送不符合 ACL 规则的数据报文,并验证是否按照规则的定义被拒绝。④打开承载网设备日志,检查 ACL 规则的操作记录是否正确并生成相应的日志条目。⑤在设备上修改已有的 ACL 规则,添加新的规则或删除部分规则。⑥重复步骤②和步骤③,验证 ACL 规则的更改是否生效,并检查设备是否能够正确地过滤数据报文。

5.15 CPU 保护功能试验

CPU 保护功能试验方法如下:①根据承载网设备的 CPU 保护设置,发送足够数量的数据流,使得承载网设备的 CPU 利用率超过设定的阈值。②查看承载网设备的处理行为,是否按照预期的模式进行 CPU 保护,如丢弃或限制流量。③检查承载网设备的告警和日志,查看是否生成相应的保护事件记录。

5.16 网络切片规划和拓扑呈现功能试验

网络切片规划功能试验方法如下:①登录承载网网管,进入网络切片规划界面。②创建不同的网络切片规划方案,包括网络切片名称、网络切片带宽、网络切片分级等参数配置。③检查切片规划方案是否创建成功,并是否可在承载网网管中进行查看和编辑。

拓扑呈现功能试验方法如下:①在承载网网管中,选择拓扑呈现功能,查看承载网的拓扑结构。②检查拓扑呈现是否准确,包括设备连接关系、设备状态、链路状态等信息是否正确显示。③检查是否支持不同的拓扑视图切换。

5.17 拓扑管理、告警管理、性能管理、配置管理功能试验

拓扑管理功能试验按 YD/T 4446—2023《切片分组网络(SPN)设备测试方法》^[24]有关规定进行。

告警管理功能试验方法如下:①模拟设备故障、链路中断、性能异常等不同告警事件。②检查承载网网管是否能够实时接收并显示告警类型、告警级别、告警时间等告警信息。

性能管理功能试验方法如下:①配置承载网网管的采集周期、采集项等性能管理参数。②检查承载网网管是否能够实时采集和展示网络设备的吞吐量、延迟、丢包率等性能数据。

配置管理功能试验方法如下:①登录承载网网管,进入配置管理界面。②检查承载网网管是否能够显示网络设备的接口配置、路由配置、安全配置等配置信息。

5.18 远程配置下发、网络健康状态感知、报告生成和用户运维功能试验

远程配置下发功能试验方法如下:①登录承载网网管,建立与承载网设备的远程连接。②选择目标承载网设备,编辑 IP 地址、创建端口、修改协议类型等相关配置参数。③将新的配置下发到目标承载网设备,并检查配置是否成功应用到承载网设备上。

网络健康状态感知功能试验方法如下:①在承

载网网管中查看承载网的设备状态、链路状态、接口利用率等健康状态信息。②检查承载网网管是否能够准确感知和监测网络的健康状态，并实时更新相关信息。

报告生成功能试验方法如下：①使用承载网网管的报告生成功能，生成网络性能、配置变更、故障排查等方面的报告。②检查承载网网管是否能够准确地收集和分析网络数据。

用户运维功能试验方法如下：①使用承载网网管模拟常见的设备重启、接口关闭/开启、配置回退等用户运维操作。②检查承载网网管是否能够有效地执行这些操作，并及时反馈操作结果和状态。

5.19 业务拓扑可视、流量路径可视和设备免配置

即插即用功能试验

业务拓扑可视功能试验方法如下：①打开承载网网管的业务拓扑页面或功能模块。②检查承载网网管是否能够正常显示业务拓扑图。

流量路径可视功能试验方法如下：①打开承载网网管的流量路径页面或功能模块，输入源节点和目的节点，模拟流量路径查询。②检查承载网网管是否能够正确计算并展示业务流量经过的源节点、途径节点和目的节点。

设备免配置即插即用功能试验方法如下：①准备 1 个未配置的承载网设备。②将承载网设备连接到承载网网络中。③查看承载网网管是否能够自动管理承载网设备并完成初始化配置。

5.20 北向接口和平台对接功能试验

北向接口和平台对接功能试验方法如下：①分别使用 XML、SNMP、RESTful 等接口测试工具发送请求至承载网网管的北向接口，并检查煤矿整体管理系统平台是否能够正确接收和处理这些数据。②查看承载网网管是否返回响应报文，并检查响应报文的数据格式和内容是否正确。

6 主要技术指标测试

6.1 传输距离测试

承载网以光缆为传输介质时，根据图 3(a)测试传输距离，图中光衰减器模拟最大传输距离的光缆线路损耗。承载网以电缆为传输介质时，根据图 3(b)测试传输距离，图中仿真线模拟最大传输距离的电缆线路损耗。2 种介质情况下，在最大吞吐率时进行测试，检查是否丢包，若无丢包，则最大传输距离符合要求。

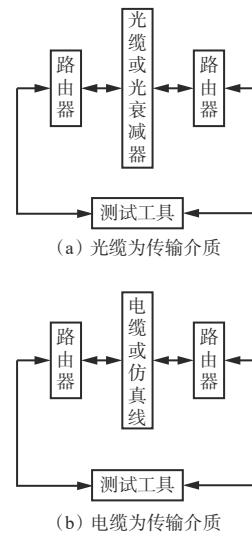


图 3 承载网最大传输距离测试

Fig. 3 Maximum transmission distance test of bearer network

6.2 主干网传输速率测试

骨干网传输速率测试方法如下：①将网络测试仪连接到骨干网的路由器上。②使用测试软件在网络测试仪上生成速率 ≥ 10 Gbit/s 的流量。③在骨干网的另一端使用分析软件测量接收到的流量，比较发送和接收到的流量数据，计算传输速率是否 ≥ 10 Gbit/s。

接入网传输速率测试方法如下：①将网络测试仪连接到接入网的路由器上。②使用测试软件在网络测试仪上生成速率 ≥ 1 Gbit/s 的流量。③在接入网的另一端使用分析软件测量接收到的流量，比较发送和接收到的流量数据，计算传输速率是否 ≥ 1 Gbit/s。

6.3 随流检测测试

采用承载网随流检测技术测试网络的时延、抖动、丢包率等性能指标，如图 4 所示，损伤仪模拟网络链路劣化丢包，测试步骤如下：①构造端到端以太网业务，并通过测试工具模拟煤矿以太网业务流量发包，发送业务流量小于被测系统内部带宽。②被测系统基于业务部署随流检测功能，通过网络管理平台可以查看到端到端业务流量时延、抖动和丢包率。③通过损伤仪模拟承载网内部链路丢包率 30%，测试工具呈现端到端业务流量丢包 30%。④通过网络管理平台可以查看到端到端、逐跳的业务流量时延、抖动和丢包率，并且呈现丢包链路。

6.4 网络切片测试

网络切片测试步骤如下：①50 GE 及以上速率接口测试 FlexE 接口切片和信道化子接口切片，10 GE 及以下速率接口测试信道化子接口切片。②被测网络配置网络切片个数 ≥ 5 ，如果是 FlexE 接口技术，每

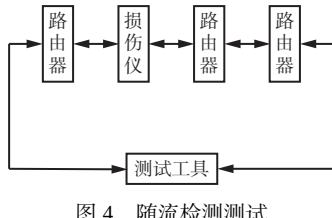


图4 随流检测测试

Fig. 4 In-situ flow information telemetry test

个网络切片带宽为1 Gbit/s,如果是信道化子接口技术,每个网络切片带宽为2 Mbit/s。(3)将测试工具的2个端口连接到被测网络链路的源端口和目的端口上。(4)通过测试工具的1个端口向被测网络注入包长1 518 byte流量,各网络切片优先级相同。(5)第1个网络切片注入流量带宽为网络切片带宽的70%,其余网络切片不注入流量,在测试工具接收端口接收测试帧,计算并记录第1个网络切片发送和接收的时间差,以及数据帧数量差。(6)第1个网络切片注入流量带宽为网络切片带宽的70%,其余网络切片注入流量带宽为网络切片带宽的120%,在测试工具接收端口接收测试帧,计算并记录第1个网络切片发送和接收的时间差,以及数据帧数量差。

6.5 网络重构自愈时间测试

在最大吞吐率条件下,使帧长和帧速率不变,断开承载网中任意2个承载网路由器连接,网络测试工具根据丢包量和帧速率计算网络重构自愈时间。

6.6 备用电源连续工作时间测试

使备用电源处于充满状态,停止承载网设备外部电源供给,记录承载网设备在备用电源下连续工作时间是否 ≥ 4 h。

7 结论

1) 为满足煤矿监控、定位、视频、音频、远控、5G等不同业务对时延、可靠性、带宽等指标的不同需求,承载网应具有下列功能:①网络切片功能,支持FlexE接口技术或信道化子接口技术,将端口带宽资源划分到不同网络切片中;不同网络切片之间的业务彼此隔离承载,互不影响;满足监控、定位、视频、音频、远控、5G等业务统一传输要求。②网络切片在线带宽扩容功能,带宽调整过程中业务不出现丢包。③网络切片设置掉电保护功能,承载网设备掉电重启后网络切片设置保持不变,无需重新配置。④符合IEEE 802.3和TCP/IP协议,支持IPv6协议和IPv6业务承载,支持IPv4、IPv6业务同时承载。⑤支持万兆光接口、千兆光接口、10/100/1 000 Mbit/s自适应接口,核心与汇聚节点宜支持5万兆及以上光接口。⑥宜采用环形或双环结构。

⑦业务质量实时监测功能,实时监测指定业务的时延、抖动和丢包率情况。⑧1588v2时钟同步功能,支持5G基站业务接入。

2) 承载网设备应具有下列功能:①支持3层路由功能,支持虚拟局域网VLAN和虚拟专用网络VPN。②初始化参数设置和掉电保护功能。③可被承载网网管管理,具有网络管理协议SNMP、Telemetry、Netconf等管理功能。④故障诊断和故障指示功能。⑤电源监测与指示功能。⑥ACL数据报文过滤功能。⑦CPU保护功能。

3) 承载网网管应具有下列功能:①网络切片规划和拓扑呈现功能,支持指定业务入网络切片。②拓扑管理、告警管理、性能管理、配置管理等功能。③远程配置下发功能,支持网络健康状态感知和用户运维,输出告警、报告等。④业务拓扑可视和流量路径可视功能,支持设备免配置即插即用。⑤宜支持XML、SNMP、RESTful等北向接口,实现承载网网管和煤矿整体管理系统平台的对接。

4) 承载网的主要技术指标应满足下列要求:①光端口传输距离应 ≥ 20 km;电端口传输距离应 ≥ 100 m。②骨干网传输速率应 ≥ 10 Gbit/s;接入网传输速率应 ≥ 1 Gbit/s。③不同帧长的丢包率均 $\leq 0.01\%$ (在70%网络流量负载条件下)。④单节点传输时延应 ≤ 1 ms(当以太网帧长度为1 518 byte时)。⑤节点转发抖动 $\leq 100 \mu s$ 。⑥单接口支持切片数量应 ≥ 5 。⑦FlexE接口技术最小带宽应 ≤ 1 Gbit/s;信道化子接口技术最小带宽应 ≤ 2 Mbit/s。⑧网络重构自愈时间应 ≤ 50 ms。⑨在电网停电后,承载网设备在备用电源下的连续工作时间应 ≥ 4 h。

参考文献(References):

- [1] 孙继平.煤矿智能化与矿用5G[J].工矿自动化,2020,46(8):1-7.
SUN Jiping. Coal mine intelligence and mine-used 5G[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(8): 1-7.
- [2] 孙继平,陈晖升.智慧矿山与5G和WiFi6[J].工矿自动化,2019,45(10):1-4.
SUN Jiping, CHEN Huisheng. Smart mine with 5G and WiFi6[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(10): 1-4.
- [3] 孙继平,张高敏.矿用5G频段选择及天线优化设置研究[J].工矿自动化,2020,46(5):1-7.
SUN Jiping, ZHANG Gaomin. Research on 5G frequency band selection and antenna optimization setting in coal mine[J]. Industry and Mine Automation. 2020,46(5):1-7.

- [4] MT/T 1131—2011 矿用以太网[S].
MT/T 1131-2011 Ethernet for the mine[S].
- [5] GB/T 21671—2008 基于以太网技术的局域网系统验收测评规范[S].
GB/T 21671-2008 Acceptance test specification for local area network(LAN) systems based on ethernet technology[S].
- [6] YD/T 1160—2001 接入网技术要求——基于以太网技术的宽带接入网[S].
YD/T 1160-2001 Access network technical specification-broadband access network based on ethernet technology[S].
- [7] MT/T 1081—2008 矿用网络交换机[S].
MT/T 1081-2008 Network switch for a coal mine[S].
- [8] 孙继平. 煤矿机器人电气安全技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(4): 1-6.
SUN Jiping. Research on electrical safety technology of coal mine robot[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(4): 1-6.
- [9] 中国电信, 华为技术有限公司. 灵活以太网技术白皮书(2018 版) [EB/OL]. [2024-03-27]. <https://carrier.huawei.com/~ /media/CNBG/Downloads/Spotlight/5g/20180920.pdf>.
China Telecom, Huawei Technologies Co., Ltd. White paper on flexible ethernet technology(2018 edition) [EB/OL]. [2024-03-27]. <https://carrier.huawei.com/~ /media/CNBG/Downloads/Spotlight/5g/20180920.pdf>.
- [10] 孙继平, 程加敏. 煤矿智能化信息综合承载网[J]. 工矿自动化, 2022, 48(3): 1-4, 90.
SUN Jiping, CHENG Jiamin. Coal mine intelligent information comprehensive carrier network[J]. Journal of Mine Automation, 2022, 48(3): 1-4, 90.
- [11] 孙继平. 矿井人员位置监测技术[J]. 工矿自动化, 2023, 49(6): 41-47.
SUN Jiping. Mine personnel position monitoring technology[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(6): 41-47.
- [12] 孙继平, 田子建. 矿井图像监视系统与关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1): 65-68.
SUN Jiping, TIAN Zijian. Image monitoring system and key technology in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 65-68.
- [13] 孙继平, 梁伟峰, 彭铭, 等. 煤矿井下无线传输衰减分析测试与最佳工作频段研究[J]. 工矿自动化, 2023, 49(4): 1-8.
SUN Jiping, LIANG Weifeng, PENG Ming, et al. Analysis and testing of wireless transmission attenuation in coal mine underground and research on the optimal operating frequency band[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(4): 1-8.
- [14] 孙继平. 煤矿用 5G 通信系统标准研究制定[J]. 工矿自动化, 2023, 49(8): 1-8.
SUN Jiping. Research and development of 5G communication system standards for coal mines[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(8): 1-8.
- [15] 孙继平. 智能矿山信息综合承载网与网络切片路由器[J]. 智能矿山, 2023, 4(1): 14-17.
SUN Jiping. Intelligent mine information comprehensive bearer network and network slicing router[J]. Journal of Intelligent Mine, 2023, 4(1): 14-17.
- [16] 孙继平. 煤矿事故特点与煤矿通信、人员定位及监视新技术[J]. 工矿自动化, 2015, 41(2): 1-5.
SUN Jiping. Characteristics of coal mine accidents and new technologies of coal mine communication, personnel positioning and monitoring[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(2): 1-5.
- [17] 孙继平, 江羸. 矿井车辆无人驾驶关键技术研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(5): 1-5, 31.
SUN Jiping, JIANG Ying. Research on key technologies of mine unmanned vehicle[J]. Journal of Mine Automation, 2022, 48(5): 1-5, 31.
- [18] 孙继平. 煤矿信息化与智能化要求与关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 22-25, 71.
SUN Jiping. Requirement and key technology on mine informationalization and intelligent technology[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 22-25, 71.
- [19] 孙继平. 煤矿智能化与矿用 5G 和网络硬切片技术[J]. 工矿自动化, 2021, 47(8): 1-6.
SUN Jiping. Coal mine intelligence, mine 5G and network hard slicing technology[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(8): 1-6.
- [20] YD/T 3992—2021 灵活以太网(FlexE)链路接口测试方法[S].
YD/T 3992-2021 Test methods for flexible ethernet (FlexE) interface of link[S].
- [21] YD/T 1240—2002 接入网设备测试方法——基于以太网技术的宽带接入网设备[S].
YD/T 1240-2002 Test method for access network-broadband access based on ethernet technology[S].
- [22] YD/T 3918—2021 接入网设备测试方法 支持网络切片的光线路终端(OLT)[S].
YD/T 3918-2021 Test methods for access network optical line terminal(OLT) supporting network slicing[S].
- [23] YD/T 4609—2023 切片分组网络(SPN)南向接口测试方法[S].
YD/T 4609-2023 Test method of slicing packet networks(SPN) equipment southbound interface[S].
- [24] YD/T 4446—2023 切片分组网络(SPN)设备测试方法[S].
YD/T 4446-2023 Test methods for slicing packet networks(SPN) equipment[S].