



# 上海教育行业专网组网架构技术研究

姜伟萍, 白洋, 王浩, 翁雯倩

(中国电信股份有限公司上海分公司, 上海 201315)

**摘要:** 教育行业专网是IP数据网技术面向行业用户的典型应用, 经过多年的发展, 中国电信股份有限公司上海分公司承建运营的教育行业专网, 无论从网络规模、用户数量和业务种类而言, 都具有规模优势和技术创新性。为了满足未来教育行业的高质量发展, 国家将积极推进教育专网与“互联网+教育”平台的深度融合, 需要运营商提供高性能带宽、多接入方式、全业务承载的数字底座。通过研究现有教育行业专网的组网架构及业务情况, 分析行业用户使用行为和改進需求, 并根据教育主管部门对高质量教育支撑体系的规划和指导, 结合新型城域网技术和云宽带技术的应用, 提出未来教育行业专网网络架构的发展设想。

**关键词:** 教育行业专网; MPLS VPN; PON FTTH; SRv6; vBRAS

**中图分类号:** TP393

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2025081

## 0 引言

2021年7月, 教育部等六部门发布《关于推进教育新型基础设施建设构建高质量教育支撑体系的指导意见》(教科信〔2021〕2号)指出:“到2025年, 基本形成结构优化、集约高效、安全可靠的教育新型基础设施体系, 并通过迭代升级、更新完善和持续建设, 实现长期、全面的发展。建设教育专网和‘互联网+教育’大平台, 为教育高质量发展提供数字底座。”“按需扩大学校出口带宽, 实现中小学固定宽带网络万兆到县、千兆到校、百兆到班, 以及部省数据中心、高校超算中心等设施的高速互联。深入推进IPv6等新一代网络技术的规模部署和应用。”

早在2013年, 中国电信上海分公司依托运营商网络管线优势, 采用网络架构分层设计(核心层、汇聚层、接入层), 通过DICT项目建立用户

独享的教育专网(骨干网)架构, 并在浦东新区完成教育专网的初步建设, 实现区域内大中小学、幼儿园及教育单位的宽带接入, 实现各类教育平台资源的高效利用。另一方面, 中国电信上海公司又提出了基于数据城域网VPN组网技术的教育专网(骨干网)架构, 并在虹口、黄浦等区“校校通”部署中采用, 同样可以实现各类教育机构的宽带接入和教育平台资源共享。

在大中小学、幼儿园等教育单位区域内的用户侧网络即为校园宽带接入网。对于中小学、幼儿园等教育单位而言, 它通常是一个提供固网或无线接入的数据局域网, 为学校教学和管理提供信息化数字化的环境, 通过运营商接入路由器和防火墙与教育专网(骨干网)相连。而高校校园宽带接入网覆盖区域大, 同一高校不同校区甚至分布在不同区域, 相距甚远; 高校活跃用户多, 业务需求差异巨大, 同时还要联接校内已有的各

教学资源平台。这就要求高校校园宽带接入网业务丰富且可快速部署，实现已有教学资源的共享。本文重点讨论高校宽带接入网。

本文采用不同组网架构的教育行业专网实例，从现网网络资源和平台资源利用度、业务性能、专网可靠性和稳定性、专网建设成本和现网改造风险、日常维护方案及成本、专网拓展性等方面进行定性比较，了解并汇总行业用户和运维人员对专网业务和维护功能的建议，进一步研究分析今后教育行业专网在业务发展和运营维护方面的目标需求。

### 1 现有教育行业专网(骨干网)常见组网方式

#### 1.1 虹口区教育局校校通 (MPLS VPN骨干网) 基于MPLS VPN技术的教育行业专网组网架构

构如图1所示。

中国电信上海分公司基于现网数据城域网，利用基于多协议标签交换技术的虚拟专用网络 (multi-protocol label switching virtual private network, MPLS VPN) 技术，构建了一个连接灵活的虚拟教育行业专网。由于现网数据城域网 MPLS VPN 提供的是三层 VPN，为行业专网用户提供虚拟路由功能，用户只需要把数据包送至用户终端CE，由现网边缘路由器PE进行路由计算以及数据包选择路径转发，对路由计算以及路径选择要求并不是很高。采用这样的专网架构在业务功能实现和用户规模扩展方面具备以下优势。

(1) 现网数据城域网本身已经进行了周密的可靠性及冗余性设计，从设备、线路到路由都可确保“校校通”网络的正常运行，所以，可用较

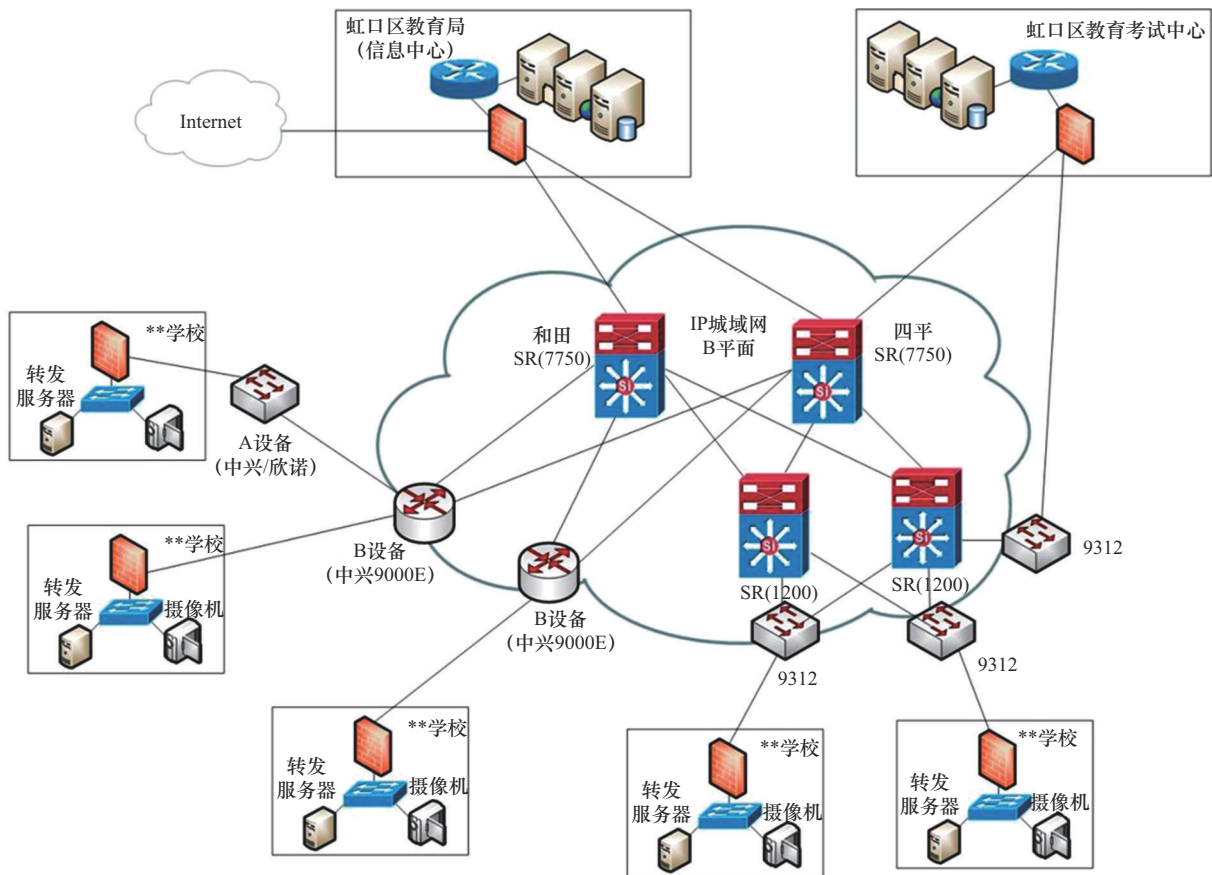


图1 基于MPLS VPN技术的教育行业专网组网架构



少的部署成本，承载各类教育专网业务，并提供面向应用的服务质量（quality of service, QoS）保障。

(2) 可充分利用现网各型接入汇聚设备。边缘路由器，可以是IP无线电接入网（IP radio access network, IPRAN）网关B设备、智能传送网（smart transport network, STN）网络A设备，以及DC设备。这可以节省很多建设投资，对将来接入学校大量增加时，扩容也非常简便。

(3) 由于采用现网 MPLS VPN 作为通道机制，专网用户可以获得运营商级别的服务等级协议（service level agreement, SLA）服务等级，享受快响应、高等级的维护保障。

### 1.2 浦东教育专网（单独建设骨干网）

单独建网的教育行业专网组网架构如图2所示。

浦东教育专网（骨干网）采用分层设计，分为核心层、汇聚层、接入层，初建于2013年，后经多次扩容改造，现由4个核心点与35个汇聚点组成。35个汇聚节点分别设有汇聚路由器1台，汇聚路由器采用10 GE 分别上联至南片或北片一对核心路由器，向下提供GE或10 GE 端口接入。该专网承载教育行业用户的互联网访问（综合）、财务管理、视频监控、电子巡考、理化实验考试等业务。教育行业用户单独建网方案的优势如下。

(1) 由于采用ICT2.0 投资方式单独建网，能

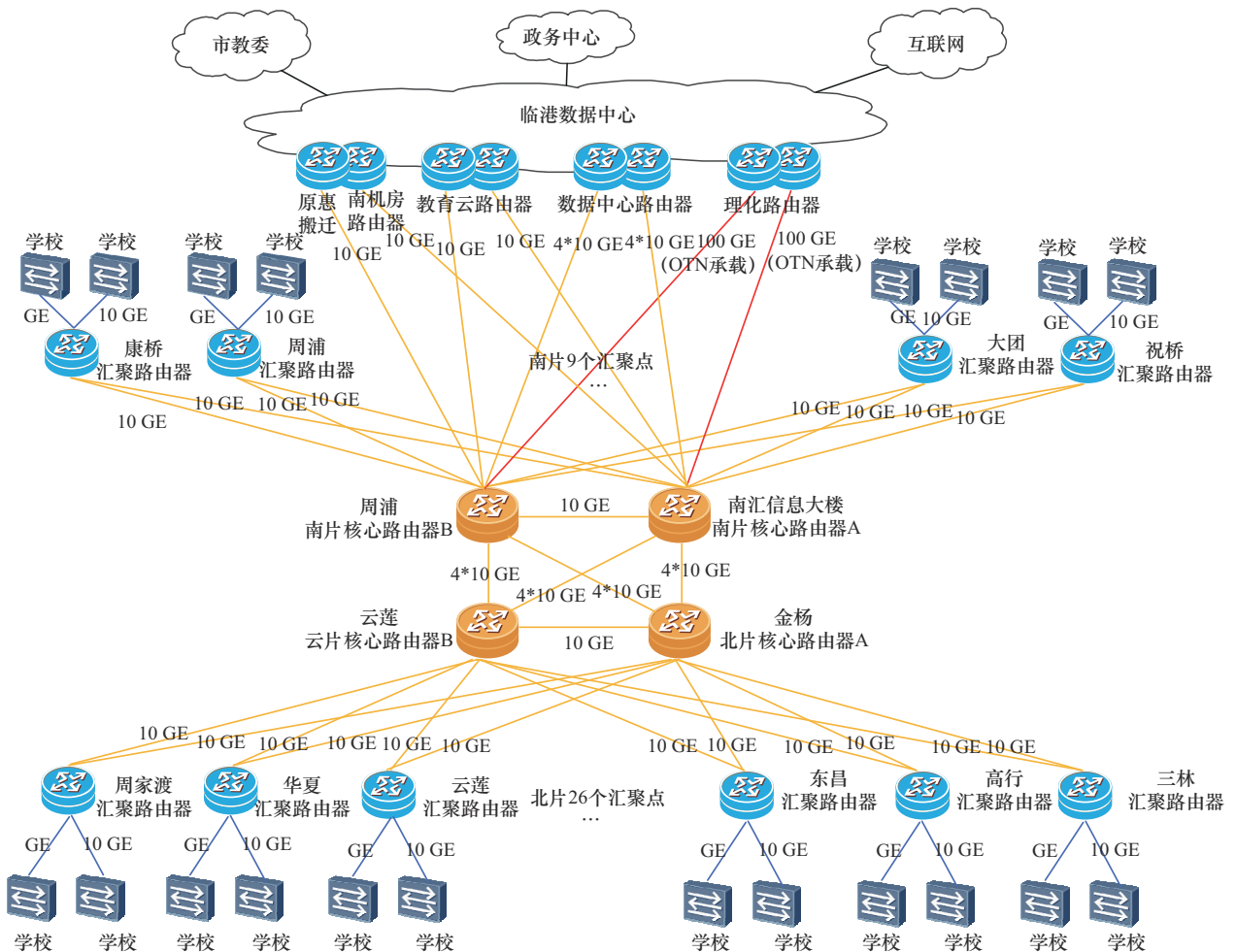


图2 单独建网的教育行业专网组网架构

够从设备级、链路级、网络级等多个层次保证教育专网网的可靠性和稳定性，避免非教育专网用户或业务的原因造成专网瘫痪或频繁故障，进而严重影响教学活动；另一方面，单独建网可以实现专网与公众宽带网和其他政企、行业应用专网的物理隔离，最大限度地保证了教育专网网元和业务的信息安全。

(2) 教育专网承载了丰富的教学应用，特别是视频类和互动类的业务，需要实现高质量的网络及线路保障，如降低时延，降低误码和丢包率等，以呈现较好的教学效果和体验。

(3) 教育专网用户的技术维护能力参差不齐，用户和维护人员都是非专业人员，这给专网运行维护带来了极大的挑战，因此需要简化用户侧维护操作，加强用户侧设备、业务状态的远程监测手段，实现专网故障的快速定位。

### 1.3 两种组网架构的比较

两种教育行业专网（骨干网）组网架构的比较见表1。

## 2 现有教育行业专网(校园宽带接入网)常见组网方式

### 2.1 外省某高校学院校园宽带网（以太网路由器+千兆交换机+LAN）

自从中国教育和科研计算机网（china education and research network, CERNET）建成后，高校校园网的建设进入了一个快速发展阶段。校园宽带网是依托数据局域网和城域网技术，实现各类数据宽带业务，满足教学科研对信息处理和多媒体业务的需求，实现信息检索、多媒体教育、教务管理，并可外接公众互联网和国家教育网等。此类架构的校园宽带校园网基本功能业务需

表1 两种教育行业专网(骨干网)组网架构的比较

架构类型	MPLS VPN组网	单独建设组网
现网资源利用	可充分利用已建成的网络和链路资源	不利用现网已有网络和链路资源
现网改造成本	改造费用少	建设投资大，由专网用户全部或部分出资
建设周期	根据新建专网规模而定，但较之同等规模网络新建，建设周期较短	较长
承载业务	视频业务（线上教学、电子巡考）、互联网访问、日常办公	互联网访问（综合）、日常办公（财务管理）、视频监控、电子巡考、理化实验考试等
组网方式	全互联模式（full mesh）	核心层-汇聚层-接入层
骨干网链路备份方式	路由热备切换	路由热备切换
SLA 服务等级	普通、A、AA 和 AAA（与现网服务等级相同）	普通、A、AA 和 AAA（与现网服务等级相同）
网络可靠性和信息安全	运营商级别政企业务的可靠性和信息安全保障	网络建设对标更高的可靠性要求（如超低时延、极少抖动、极低误码率和丢包率）； 单独建网，物理隔离，信息安全更有保障
日常维护主体及风险	运营商维护人员； 现网网元设备升级、链路调整可能会影响专网用户，现网部分设备使用年限长短不一，设备性能下降，可能影响专网业务可靠和稳定	运营商维护人员或用户 ICT 维护人员； 网元设备部署使用年限相近，专网运行周期中，网元设备大量升级改造和链路大规模调整机会较少，性能和可靠性有保障； 但用户 ICT 维护人员技术水平参差不齐，日常维护可能造成额外风险
网络延展性	依托于运营商网络定期前置规划和超前建设，对于专网用户新增用户节点数量和扩充骨干网规模的要求，基本可在较短期限内完成	新建规模中预留设备能力和冗余链路有限，如遇大量新增用户，专网扩展能力有限，需作补充规划，现网扩容，周期长
新增业务部署速度	如新增业务，需修改现网设备配置或升级网元版本，为避免影响现网其他用户和业务，须进行方案验证和现网升级改造操作方案验证；本地城域网网元数量巨大，升级改造时间长，故现网新业务部署周期长	专网规模有限，网元设备数量少，且不承载其他业务，新增业务部署改造方案简单，影响小，周期短



求如下。

- 实现接入CERNET。
- 由一个主网和多个子网组成校园局域网。
- 主网接入数据城域网后代理接入全球互联网（Internet），各子网再接入主网。
- 主网采用光纤接入宽带网；子网接入线路为五类线或六类线。每幢楼中有局域网，PC和用户终端通过楼内交换机，接入校园宽带网。
- 校内网络中心和各教学平台通过千兆线路直接接入校园宽带网主网。
- 承载业务类型：服务器数据、web页面浏览、ftp、邮箱mail、多媒体教学VOD。

根据以上功能需求，考虑实用性和节约费用的因素，认为基于以太网路由器和千兆交换机的

局部网间互联是较合适的校园网解决方案。基于数据以太网技术的高校宽带接入网组网架构如图3所示，该方案优势如下。

(1) TCP/IP 技术成熟。作为成熟可靠的 IP 城域网协议，TCP/IP 可以实现校园网内所有用户间的无损连接，用户与各平台间互操作功能，以及与其他公共城域网、国际互联网的无缝衔接。

(2) 以太网数据设备产业链完备。可选购的路由器和交换机设备厂商、型号很多，设备性能、售后服务和采购价格可被充分了解、比较，满足建网费用可控。

(3) 可扩展性。主干网和子网网元节点数量可按需增减，主干网和子网架构可灵活扩展，以应对信息点数量的剧增，以及接入新的教学平台。

(4) 可实现网络信息安全。通过在校园网和公共城域网间设置防火墙，设置用户登录权限

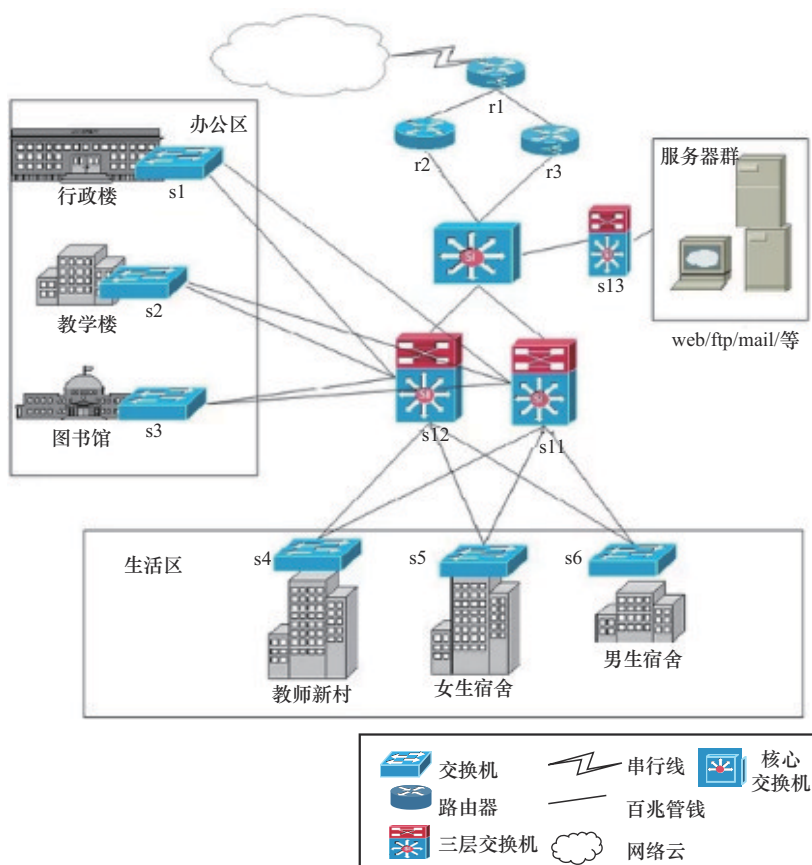


图3 基于数据以太网技术的高校宽带接入网组网架构

和密码，各子网和各业务间划分虚拟局域网（virtual local area network, VLAN），各网元设备安装防毒防网络攻击软件，校园网维护人员定期病毒扫描等措施，可实现网络和信息安全要求。

## 2.2 华东理工大学校园宽带网（电信校园网专用BRAS+PON FTTH）

近年来，随着校园高带宽业务需求的迅猛发展（如远程教育、视频通信、视频点播等），要求进一步提升校园宽带接入网的带宽，特别是校园宿舍区的入室带宽。因此，原来基于以太网路由器+千兆交换机+LAN的宽带接入网组网方式已无法适应以上新要求，迫切需要对现有的校园宽带接入网进行改造。中国电信上海分公司因地制宜，根据各高校的差异化需求，优化校园宽带接入网架构，引入10 GE PON千兆宽带技术，建立了全面覆盖各校区的高速交互网络，并将光纤延伸至每间宿舍房间，无源光网络的光纤到户接入（passive optical network fiber to the home, PON FTTH）接入方式可以更好地为学生提供高带宽的接入能力。基于PON FTTH技术的校园宽带网组网架构如图4所示。

在现网部署面向校园网业务的电信校园网专用宽带接入服务器（broadband remote access

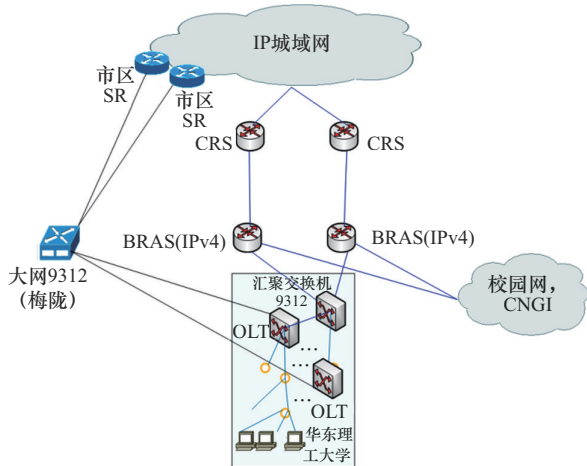


图4 基于PON FTTH技术的校园宽带网组网架构

server, BRAS)（即图4中的两台BRAS（IPv4）），终结宿舍区学生的点到点以太协议（point to point protocol over ethernet, PPPoE）上网流量，分配公网地址并按照业务套餐要求分配上下行带宽。每账号作单Session控制，用于区分是访问学校内网流量（通过外部边界网关协议（external border gateway protocol, EBGP）访问），还是访问Internet流量（通过上海电信IP数据城域网）。

与传统的以太网路由器+千兆交换机+LAN的校园宽带接入网组网架构相比，电信校园网专用BRAS+PON FTTH更具有以下优势。

(1) 几近无限的接入带宽，PON光纤网络可满足未来带宽不断增长的需求，在无须改造网络的情况下可平滑升级到10 G、50 G（薄覆盖）。

(2) 多业务支持，PON的业务透明性好，带宽较宽，可适用于任何制式和速率的信号，包括模拟广播电视业务。单个网络能够支持Wi-Fi、语音、数据、VOD、远程教育、视频会议、视频监控、高带宽上网、安全接入控制等各类业务的融合。

(3) 节约运维成本，PON技术在宽带接入网中减少了有源设备，从而尽可能避免了电磁干扰和雷电影响，减少了线路和外部设备的故障率，减少了供电配置，简化了网管复杂性。相对传统的LAN技术，可以快速开展业务并极大地降低运维成本。

(4) 便于维护，集中的网管系统、自动开通、自动升级机制和手机APP，方便学校IT维护人员进行多层次全面的智能维护；PON网管系统提供端到端链路连通性检测手段，提升了校园宽带网故障判断的准确性。

(5) 产业发展长期向好，PON技术获得了全球主流运营商和设备商的支持，其在标准规范、产业链已经相当成熟，在市场应用方面展现出了广阔的发展预期。



## 2.3 两种组网架构的比较

两种校园宽带接入网组网架构的比较见表2。

## 3 教育行业用户对教育专网的调研总结

### 3.1 现网教育行业专网骨干网和校园宽带接入网调研结果汇总

但随着教育信息系统、考试系统逐步上云，各教育单位上云访问的需求越来越多，业务模

型越来越复杂，这就对教育行业专网的功能性、业务承载和运维管理，提出了更高、更全面的要求。我们调研了现网各区局教育行业专网的运行情况，了解行业用户和运维人员对专网功能性能升级和运维能力提升的建议（见表3）。同时又走访了本地各主要高校，了解用户对现网有高校校园宽带接入网的使用感知，请用户对校园网的下一步业务发展和运维工作提出建议（见表4）。

表2 两种校园宽带接入网组网架构的比较

架构类型	以太网路由器+千兆交换机+LAN	电信校园网专用BRAS+PON FTTH
网络建设出资人	学校、教育主管部门	学校、教育主管部门、运营商
建设费用	校区范围较小，信息节点分布集中，维护保障要求一般时，该方案可节省建设费用。	校区范围大，信息节点分布分散，维护保障要求高时，该方案的建设成本有优势
建设周期	与校区范围大小、信息点数量和分布情况有关，与组网方式关系不大	与校区范围大小、信息点数量和分布情况有关，与组网方式关系不大
承载业务	视频业务（多媒体教学）、互联网访问、日常办公（mail邮箱）、数据库访问	数据库访问、VOD、远程教育、视频会议、视频监控、高带宽上网、安全接入控制
组网方式	一般是星形+分层形组网	PON+ODN网络组网
连接CE线路材质	五类线、六类线、光纤	光纤
用户终端最大带宽	100 M、1 000 M	1 000 M、2 500 M
网络可靠性和信息安全	使用企业级或运营商级的网元设备，可确保网络可靠性；使用防火墙、查毒查漏软件，配合用户分权分域管理，可保障网络和信息安全；	光信号泄密可能性较小，光纤被旁路后较易被发现；尽量使用运营商级网运设备，找出并关闭PON设备端口漏洞。配合用户登录口令，可确保PON网络信息安全
日常维护主体及风险	学校ICT维护人员； 网络架构较为复杂，网元设备种类较多，对维护人员的要求较高；有源设备较多，故障点也会多；引入较多电源设备，会造成设备发热隐患，还易受雷电影响和电磁干扰。	运营商维护人员； 维护人员对PON设备较为了解，对ODN相对熟悉，维护水平较高。提供集中维护的网管系统，提供端到端链路检测手段，也可通过手机App，进行远程业务开通和远程维
网络延展性	网络架构相对灵活，可按需，适当微调网络架构，以应对新增信息点的激增	网络架构相对固定，不能轻易调整改变
新增业务部署速度	类似集中控制网络，如新增业务，需升级少量核心交换机和路由器的软件和数据	类似分布控制网络，业务逻辑控制分散于每个CE中，如新增业务，需升级所有CE软件和数据，周期较长

表3 教育行业专网(骨干网)现网调研结果汇总

骨干网	承建商和运维单位	建网模式	组网架构	业务通道	网安功能	专网用户接入带宽	城域网接口/互联平台	业务功能升级需求	现网运维提升需求
XX区教育专网骨干网	上海电信	DICT项目	单平面/汇聚层主备路由，核心网元100 G互联	全业务/逻辑隔离	Internet出口防火墙	10 G到学校（高中）、人均1 M	上海电信城域网/CERNET	无	建立单独网管系统
XX区教育专网骨干网	上海电信	DICT项目	分层结构，4个核心网元10 G互联	全业务/物理隔离	Internet出口防火墙	10 G到学校（高中）、人均1 M	上海电信城域网/CERNET	核心网元带宽提速（100 G）、VPN切片、支持IPv6、视频直播业务固移线路备份	已有网管系统

表4 高校校园宽带接入网调研结果汇总

接入网	承建商和运维单位	建网模式	组网架构	校园网用户情况	校园内网平台	校园网运维亟须解决问题
XX 大学校园 宽带接入网	上海电信	DICT 项 目	原为以太网络， 后完成 PON 网络 改造，部分校舍 完成全光网改造	有线接入（1 000 M/ 用户）、无线接入 （Wi-Fi）	学校管理平台和安 防平台	（1）缺少校园宽带网故障 定位手段；（2）缺少宿舍 寝室综合布线规划方案； （3）缺少校方服务器认证 问题及申告解决方案
XX 大学校园 宽带接入网	上海电信&XX 大学	DICT 项 目	多校区广域网组 网，PON 接入 网+校园网专用 BRAS	有线接入（1 000 M/用户）、5G UPF 用户接入、接入无 线接入（Wi-Fi）	学校管理平台和安 防平台&华为教育 云&有孚和优客德 云计算平台	提升校园网信息安全及防 火墙功能

### 3.2 教育行业专网和校园宽带接入网改进升级的要求

由此，以这两个极具代表性的调研结果为依据，提出对未来教育行业专网骨干网和高校校园宽带接入网发展演进的新要求。

- （1）教育行业专网骨干网的改进升级需求
  - 教育行业专网的设计必须从设备级、链路级、网络级等多个层次保证校园网的高可靠性，为每所中小学、幼儿园、其他教育单位提供 10 G 以上的高接入带宽。
  - 关键业务（如远程教育、视频广播、视频会议、考试监控等）服务质量必须保证。
  - 支持全域 IPv6/IPv4 双栈规划，以及相应 IP 地址管理功能等。
  - 教育行业专网应具备可扩展性和易维护性，能够满足新的业务快速部署的需要和用户规模变化；能够实现网络的便捷维护和快速故障定位，并降低维护管理成本。
- （2）校园宽带接入网的改进升级要求
  - 提供基于多运营商的城域网出口。
  - 全面联接原有校内教育资源和平台，将跨区域的不同校区纳入同一校园宽带网。
  - 学生可进行自助账号管理和套餐受理等功能，现有校园宽带套餐使用不受影响。
  - 提供校园宽带接入故障快速定位手段。

### 3.3 教育行业专网网络架构的发展趋势和关键技术

（1）基于新型城域网技术的教育行业专网骨干网组网架构

- 骨干网 Spine 层网元彼此间全联接，其间中继带宽达 100 G；骨干网接入 Leaf 层——CPE 网元连接 Spine 层网元，全部实现主备路由；为每台 CPE 提供 10 GE 以上的高接入带宽，并可按需为 CPE 提供主备上联路由。
- 运用新型城域网以太虚拟专用网络（ethernet virtual private network, EVPN）技术，面向不同业务，构建逻辑隔离的子业务通道。
- 通过 IPv6 分段路由（segment routing v6, SRv6）网络技术创新运用，全域支持 IPv6/IPv4 双栈。
- 建立独立的骨干网网管系统，实现链路通断状态监控及故障诊断、网元设备功能监控、骨干网网络性能监控、流量监测、设备和用户故障分析诊断，网络运行情况统计和月报输出等功能。

（2）基于云宽带接入的校园宽带接入网组网架构 10 G EPON+虚拟宽带远程接入服务器（virtual broadband remote access server, vBras）

- 校园宽带网接入新型城域网，使用校区融合边缘的框架，实现云宽带功能。



- 完成校舍的全光网改造，实现高带宽接入，人均达 1000 M，最高可达 2.5 G。
- 对 Wi-Fi 上网学生进行认证，学生 Wi-Fi 账号与宿舍宽带账号共用；提供稳定的、无缝漫游的无线网络，人均带宽达 500 M。
- 整合原有业务套餐，新增多种专网业务产品，如高速上网、云主机、VPN、云桌面、云网络附接存储（network attached storage, NAS）、直播加速、海外访问提速、云化远程接入 VPN 等业务。
- 实现业务逻辑控制集中化，便于快速部署新业务应用。
- 建立独立的校园宽带接入网网管系统，提供 AI 监控、数据安全、网络安全保障，实现智能运维，实现对校园宽带故障的自动分析定位。

#### 4 结束语

通过对现网部分区局教育行业专网骨干网和高校校园宽带接入网的调研和分析，我们了解了现网营维的难点和痛点，发现行业用户的业务功能需求，归纳总结，确定后续相关改造时网络架

构优化和设备功能性能升级的目标，需要进一步开发完善的运维功能。最后，结合新型城域网技术和云宽带技术的应用，提出教育行业专网和校园宽带接入网网络架构的发展趋势。

#### 参考文献：

- [1] 马培勇, 杨广铭, 吴伟. STN 向城域网演进浅析[J]. 移动通信, 2021, 45(4): 7.
- [2] 张坤, 张琳. 云专线技术原理与自动开通实现[J]. 电信技术, 2019(12): 82-87, 93.
- [3] 沈宁国, 于斌. 园区网络架构与技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.

#### [作者简介]

姜伟萍（1973-），女，上海电信智能云网调度运营中心（ICNOC）数据网络运行中心 IP 网络高级工程师、公司一级专家，主要研究方向为 IP 路由、MPLS、VPN 等技术；支撑 IPMAN、VPN、IPRAN 等政企产品的解决方案。

白洋（1995-），男，从事上海电信智能云网调度运营中心（ICNOC）承载网技术支持工作，主要研究方向为 IPRAN，MPLS VPN 相关方向网络技术。

王浩（1983-），男，上海电信总师室智能承载网技术主管，主要研究方向为 IP 和传输承载网相关技术。

翁雯倩（1974-），男，上海电信数字集成部集成业务管理部挂职副主任、一级网络技术（IP）专家，从事 IP 网络技术研究和基础网络产品研发工作，主要研究方向为结合 SDN/NFV、SRv6 等新技术打造新一代连接双线、IP 和传输网管能力向政企客户价值变现等。