

智慧校园全光网建设实践与优化策略研究

陶贤智

湖南省邮电规划设计院有限公司 湖南 长沙 410126

摘要：随着智慧校园建设的深入推进，4K/8K互动教学、VR虚拟实训、AI安防等业务对校园网络提出了更高要求。全光网凭借大带宽、低时延、长寿命等优势，正成为校园网络升级的主流选择。本文结合校园全光网项目中的勘察设计实践，基于PON、以太全光、彩光三种技术路线的对比分析，从混合组网策略、场景化设计、施工验收要点、运维自动化及安全加固等方面提出针对性优化措施，为同类项目建设提供参考。

关键词：智慧校园；全光网；规划设计；分场景部署；工程实践

引言

随着教育数字化转型持续深化，越来越多的学校开始建设智慧校园。智慧教学、在线实训、校园安防等业务对网络带宽和稳定性的要求比过往高得多，比如一堂4K互动录播课，带宽占用就要几十兆，VR实训教室更是动辄百兆起步。

传统的网线+交换机模式的网络在应对这些高带宽业务时确实有些吃力，主要体现在：网线传输距离短，教学楼弱电间必须密集设置；带宽升级困难，六类线跑万兆已经接近极限；线路老化后故障率升高，排查困难。而全光网方案，用光纤替代铜缆，传输距离可达数公里，带宽升级空间大，一次布线可管十到二十年，从全生命周期来看，综合造价并不比铜缆高。

本文结合这几年来在校园全光网项目中的经验教训，做一个系统梳理，希望对同行有所参考。

1 智慧校园全光网技术概述

1.1 什么是校园全光网

简单来说，校园全光网就是用光纤把网络信号从机房直接送到教学楼、宿舍、办公楼，直到用户的桌面或设备旁边。与传统网络最大的区别在于：传统网络交换

机逐级下连，中间需要很多有源设备；全光网则可以通过分光器无源分路，中间不需要供电，可靠性更高。

1.2 主要技术路线对比

目前校园全光网建设主要有三种技术路线，各有优劣，不存在放之四海而皆准的“最优解”。关键在于：在什么场景用什么技术。

（1）PON（无源光网络）

PON采用点对多点架构，一个OLT端口通过分光器连接多个ONU，多个用户共享一个PON口下的带宽资源（如1G/10G）。

（2）以太全光网

以太全光网本质上是传统交换机组网的“光化升级”，汇聚交换机与接入交换机之间通过光纤互联，每个接入交换机（或每个教室/办公点）独享从汇聚侧下行的端口带宽。

（3）以太彩光网

彩光技术在一根光纤中复用多个不同波长（如CWDM/DWDM），每个波长通道承载一路独立信号，实现物理层面的隔离和独享^[1]。

为便于直观比较，将三者核心差异汇总如表1所示。

表1 校园全光网三种技术路线综合对比

对比维度	PON（无源光网络）	以太全光网	以太彩光网
通俗理解	一根光纤进来，用分光器分成多路，像树杈一样分给多个用户	光纤直接连到每个设备，相当于把交换机换成光口	在一根光纤里用不同波长的光传多路信号，互不干扰
带宽分配方式	共享（一个OLT端口下多个ONU共用带宽）	独享（每个接入设备独享端口带宽）	独享+物理隔离（不同业务用不同波长）
中间设备	无需供电(纯无源分光)	需要交换机等有源设备	需合分波器（无源居多）
适用场景	宿舍、食堂、图书馆阅览区、室外公共区域	智慧教室、计算机机房、实训室、考场	科研数据传输、超高清视频会议、高保密性业务
建设成本	较低	中等	较高
运维难度	较低（无源节点免维护）	中等（有源设备需维护）	较高（波长管理复杂）

1.3 校园全光网的典型架构

实际项目中，校园全光网普遍采用核心—汇聚—接

入三层结构（见图1）。核心层一般部署在中心机房，负责全校网络出口和高速交换；汇聚层按校区或楼群设

置，负责区域流量汇聚；接入层通过光纤直接延伸到各个用户终端附近。

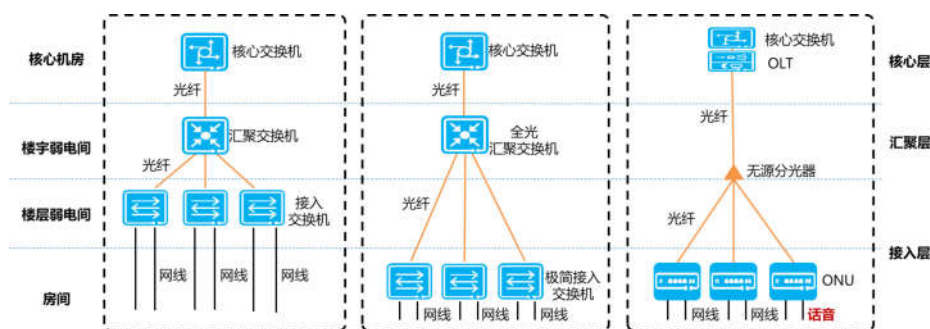


图1 校园全光网三层架构拓扑示意图

2 当前校园全光网建设的主要问题

结合校园全光网的后评估和优化改造项目，走访学校的网络管理部门，发现以下问题比较普遍。

2.1 规划层面——缺乏统筹，技术选型与场景错配

（1）见缝插针式建设。不少学校的全光网是“哪儿有问题改哪儿”，今天宿舍区不够用了改宿舍，明天教学楼卡顿了改教学楼，结果就是新旧架构混在一起，有的地方用PON，有的地方用以太网全光，VLAN规划和IP地址段没有统一，跨区域访问时延大，管理起来也很混乱。

（2）技术选型未因地制宜。部分学校在宿舍区用以太网全光，每间宿舍配一台交换机，弱电间设备密集、供电负荷大、散热困难，维护成本远超预期；这些问题的本质不是技术本身不行，而是技术选型与应用场景错配。（3）对业务需求摸不清。有些学校连自己现有的终端数量、各时段并发流量都没统计过，就开始招标采购设备。结果就是买的设备型号和实际需求对不上，要么配置过高造成浪费，要么配置不足，用了两年就撑不住了^[2]。（4）不考虑三到五年后的发展。智慧校园变化很快，今年可能还在用普通多媒体，明年就要上AI巡课、VR实训。部分学校规划时只看眼前，光纤芯数只按当前需要布放，设备槽位不留余量，等新业务一来，发现要重新拉缆、换设备，花的钱比一次性建设到位还多。

2.2 建设层面——施工粗糙，设备选型随意

（1）低价中标埋下隐患。有一些项目，招标时谁便宜谁中，结果厂商提供的设备性能缩水、光模块质量差、施工队伍不专业。光纤熔接损耗超标、尾纤弯曲半径过小、接头盒进水等问题屡见不鲜，网络动不动就掉线。（2）设备互联互通有问题。全光网涉及OLT、ONU、交换机、光模块等多个环节。PON方案中不同厂商的OLT与ONU之间跨品牌混用时常出现兼容性问题；以太网全光方案中光模块与交换机端口的匹配、不同品牌交换机之间的链路聚合协商等也可能存在隐患。（3）施工图纸与实

际不符。部分项目施工方不按图施工，光缆走线改了但未更新图纸，熔接盒里的纤芯色谱不按标准做，标识标签张冠李戴。

2.3 运维层面——手段落后，被动救火

（1）缺人、缺经验。中小学基本没有专职的全光网运维人员，高校虽然有网络中心，但多数运维团队尚未建立针对性的技能储备。（2）被动响应，没有预警。大部分学校是“用户报障才处理”，缺乏对光链路质量的主动监测。（3）故障定位困难。光纤断了，如果没有OTDR或不熟悉其使用方法，就只能靠人工一段段排查。

2.4 安全层面——重视不够，防护薄弱

全光网本身在物理层和数据链路层的安全防护相对较弱。不同技术方案的安全薄弱点有所不同：PON需防范非法ONU仿冒，以太网全光需关注广播风暴和环路风险，彩光则需注意波长干扰和物理窃听风险，但目前多数学校尚未针对这些差异化风险采取相应措施。

3 全光网建设优化对策

针对上述问题，结合项目经验，本文提出以下优化对策。核心思路是：以场景定技术，以设计保质量，以工具提效率，以基础筑安全。

3.1 根据场景选择技术方案，分区部署

不存在一种技术适用于所有场景，合理的做法是按楼栋功能和业务特征分区施策。现将三类场景的推荐方案及核心配置建议表述如下：

- 宿舍区（推荐PON）：每间宿舍独立ONU，既实现了房间级网络隔离，又避免了楼道内大量有源设备。需要注意的是控制分光比，建议不超过1:32，避免过多用户共享同一PON口导致晚高峰拥塞。对于已出现拥塞的楼栋，可通过增加OLT端口或调整分光器级联方式分流。

- 教学办公区（推荐以太网全光）：每间教室独立接入、独享带宽，避免多间教室同时开展互动教学时互相抢占。设备选型建议选用支持PoE++供电的交换机，方

便为教室AP、摄像头等设备集中供电。端口数量按现需的1.2~1.3倍配置,留出扩展余量。

- 科研/核心业务区(酌情采用彩光): 仅限极少数有特殊需求的楼栋,如高性能计算中心、大型仪器共享平台,且要求厂商提供长周期技术支持。

- 公共区域(根据覆盖范围灵活选择): 图书馆阅览区、食堂等人员密集且流动性大的区域,可采用PON+WiFi覆盖方案,成本低、部署快。

3.2 勘察设计与施工质量:三类建设方式各有管控重点

设计阶段的工作质量决定了项目上线后80%的运维体验。三类建设方式技术方案的勘察设计侧重点不同,需区别对待。

(1)前期调研三类方案的共性基础。无论采用何种技术,均需摸清各楼栋现有终端数量与分布、高峰时段并发流量、未来2~3年业务增长预期、弱电间位置与供电条件。这是三类方案设计的基础。(2)PON方案的ODN设计要点。重点在于分光器位置的优化,分光器越靠近用户,纤芯利用率越高,但分光器数量增多会增加维护节点;越靠近机房,管理越集中,但主干纤芯需求量大。(3)以太全光方案的弱电间与供电设计。关键约束不是光纤,而是弱电间的空间和供电容量,每台接入交换机需占用弱电间0.5~1U机架空间,并提供相应数量的电源插座和散热条件。设计阶段须逐间核算,核实弱电间需部署几台交换机、总功率多大、现有供电线路是否足够、是否需要增配小型UPS。(4)彩光方案的波长规划与链路预算。设计阶段须完成波长分配表,明确每个波长通道对应的业务类型、起点终点、允许插损范围^[3]。不同波长的传输损耗不同(如1550nm窗口损耗低于1310nm),需在链路预算中区别计算。彩光方案对设计精度要求最高,建议要求厂商派专人全程参与ODF架端子分配和波长规划^[4]。(5)施工验收,三类方案的统一标准与差异要求。共性要求:施工单位提供每根光纤的熔接损耗测试报告(单芯 $\leq 0.05\text{dB}$),竣工图纸与现场实际完全一致,纤芯色谱、标签标识统一规范。

3.3 运维体系建设:因“技”施策,差异化落地

(1)分级告警——三类方案分别设置监控指标。

PON方案:重点监控各ONU在线状态、接收光功率(弱光预警)、PON口丢包率。弱光ONU是PON网络最常见的故障前兆,应设置告警自动生成排查工单。

以太全光方案:重点监控接入交换机CPU/内存利用率、端口错包率、光模块收发功率、设备温度与供电状态。供电异常是以太全光方案中最常见的故障原因,建议为关键交换机配置远程电源管理模块,便于远程重启。

彩光方案:重点监控各波长通道的接收光功率、OSNR(光信噪比)、通道隔离度变化趋势。彩光故障通常表现为某个波长通道性能渐变而非突发中断,建议建立周报制度,定期比对波长健康度基线。

(2)简化故障定位手段。

PON方案:利用OLT内置的测距功能可快速测算断点距离,结合OTDR精准定位,配合施工图纸确定具体位置。

以太全光方案:光纤中断相对少见,常见故障多为设备宕机或光模块劣化。可先通过网管确认是单点故障还是大面积故障,单点故障直接更换光模块或设备,大面积故障则检查弱电间供电。

彩光方案:故障定位最为复杂。当某波长通道性能下降时,需区分是光源劣化、合分波器通道插损增大还是光纤物理问题,通常做法是在合分波器两端分别测试光功率,通过差值判断问题所在。

3.4 安全防护做到位

全光网安全防护的基线要求三类方案共通,但各方案的薄弱环节不同,需差异化加固。PON方案需重点防范非法ONU仿冒和广播风暴。以太全光方案需重点防范环路风险和接入层设备物理安全。彩光方案需重点防范波长干扰和物理层窃听^[5]。

结语

全光网作为智慧校园的网络底座,其建设质量直接关系到学校教学、办公、生活等方方面面。做好一个校园全光网项目,关键不在于选用了多高端的设备,而在于:规划阶段把需求摸清楚,设计阶段把余量留充足,施工阶段把标准执行到位,运维阶段把工具和方法给到位,这四个环节环环相扣,任何一个环节掉链子,最终都会体现在用户体验上。未来校园全光网建设需持续立足场景需求,兼顾实用性与前瞻性,持续优化组网架构与运维体系,筑牢智慧校园网络根基,全面支撑校园教学、科研、办公一体化智慧化发展。

参考文献

- [1] 教育部. 教育信息化2.0行动计划[Z]. 2018
- [2] 中国工程建设标准化协会. 民用建筑光纤布线系统技术规程: CECS 485-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017
- [3] 李志刚, 王磊. 智慧校园全光网络架构设计与应用[J]. 现代教育技术, 2022, 32(5): 45-51
- [4] 住房和城乡建设部. 综合布线系统工程设计规范: GB 50311-2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016
- [5] 张瑞, 陈思远. 校园无源光网络运维管理实践[J]. 中国教育网络, 2023(3): 28-32.