

西北工业大学光网改造赋能智慧校园建设

马宇豪^{1*}

(¹ 西北工业大学 信息化管理处, 陕西 西安 710072)

摘要: 为应对高校数字化转型中网络基础设施面临的带宽瓶颈、覆盖盲区、运维复杂及安全威胁等多重挑战, 西北工业大学前瞻性规划并实施了“智慧光网”升级改造项目。本项目通过构建以太全光网络和 PON 全光网络结合的“双模全光”融合组网方案, 部署分布式 SDN 智能管理平台以及“内生+外挂”一体化安全体系, 成功打造了支撑未来智慧校园发展的新一代高性能网络底座。项目实现了万兆光纤入室, 核心骨干网 100G 互联, 并深度赋能于 4K 超高清互动教学、VR 沉浸式虚拟装配综合实训、“5G+WiFi+IoT”超融合泛在接入和智能化消防安防等诸多典型应用场景, 显著提升了教学科研效率、管理服务水平和校园安全保障能力。

关键词: 智慧校园; 全光网络; SDN

DOI: <https://doi.org/10.71411/jyyjx.2026.v2i1.1186>

Northwestern Polytechnical University's Optical Network Upgrade Empowers Smart Campus Development

Ma Yuhao^{1*}

(¹ Northwestern Polytechnical University, Information Management Office, Xi'an, Shaanxi, 710072, China)

Abstract: In response to multiple challenges such as bandwidth bottlenecks, coverage gaps, operational complexity, and security threats in network infrastructure during the digital transformation of higher education, Northwestern Polytechnical University has proactively planned and implemented a "Smart Optical Network" upgrade project. By constructing a "dual-mode all-optical" integrated networking solution that combines the Ethernet all-optical network and the PON all-optical network, deploying a distributed SDN intelligent management platform, and establishing an integrated "built-in + add-on" security system, the university has successfully built a new generation of high-performance network foundation to support the future development of smart campus. The project has achieved 10-gigabit fiber to the room, 100G core backbone interconnection, and deeply empowered numerous typical application scenarios, including 4K ultra-high-definition interactive teaching, VR immersive virtual assembly comprehensive training, "5G+WiFi+IoT" hyper-converged ubiquitous access, and intelligent fire protection and security. It has significantly improved the efficiency of teaching and research, the level of management services, and the campus security capabilities.

Keywords: Smart Campus; All-Optical Network; SDN

作者简介: 马宇豪 (1994), 男, 陕西西安, 硕士, 研究方向: 网络通信

通讯作者: 马宇豪, 通讯邮箱: mayuhao@nwpu.edu.cn

引言

当前,以人工智能、大数据、物联网、虚拟现实等为代表的新一代信息技术正以前所未有的深度和广度重塑高等教育生态^[1],智慧校园建设已成为高校实现教育现代化、提升核心竞争力的关键路径。作为我国“双一流”建设重点高校,西北工业大学在航空、航天、航海等领域肩负着重要的科研与人才培养使命,其对网络基础设施的依赖性日益增强,要求也愈加严苛。

然而,传统基于铜缆和多层交换的校园网络,在面向智慧校园新发展阶段时,暴露出诸多结构性瓶颈:其一,带宽与容量瓶颈:难以支持 4K/8K 超高清视频流、大规模科研数据(如仿真模型、遥感影像)的实时传输,以及海量物联网终端的高并发接入^[2];其二,覆盖与扩展瓶颈:网络架构复杂,新增业务或技术(如 5G、边缘计算)融合困难,难以实现室内外、有线无线的无缝泛在覆盖;其三,运维与管理瓶颈:设备品牌型号繁杂、策略配置依赖命令行手工操作,故障定位周期长,运维人力成本高;其四,安全与可信瓶颈:传统边界防护模式难以应对日益隐蔽的内部威胁和针对关键科研数据的定向攻击,整体安全防护体系亟待升级。

为解决上述矛盾,支撑学校教学、科研、管理服务的数字化、智能化升级,西北工业大学启动了“智慧光网”升级改造项目。该项目并非简单的带宽提速,而是旨在构建一个以光纤为物理介质、以智能化为核心特征、以安全可靠为基石、以开放融合为目标的下一代校园网络新型基础设施。本文旨在系统性地梳理并呈现该项目的整体设计、实施方案与应用成效,为其他高校网络建设提供经验参考。

1 总体设计

1.1 核心设计理念

项目确立了“需求牵引、高速稳定、智能管理、安全可靠、开放兼容、绿色节能”的核心设计理念。

需求牵引:围绕智慧校园在数智教学、科研协作、泛在物联应用等领域的迫切需求,开展与业务深度融合的全光校园网建设部署。

高速稳定:通过全光网络覆盖,确保师生随时随地享受到千兆高速、稳定的网络连接。

智能管理:通过引入 SDN (Software Defined Network, 软件定义网络) 智能管理平台,有效简化网络设备的日常维护和管理工作,从而进一步提升了网络运行的稳定性和可靠性。

安全可靠:集成多维度安全防护措施,保障网络安全。

开放兼容:支持与现有校园网及未来新技术融合,避免重复投资。

绿色节能:采用低功耗光网设备,较传统网络能耗降低。同时减少设备配线间,释放教育办公用房资源。

1.2 系统分层架构设计

基于上述理念,项目设计了清晰的三层系统架构,自下而上分别为:网络基础设施层、智能管控与安全层、融合应用服务层。

1.2.1 网络基础设施层:双模全光,场景最优

整体网络架构建设规划采用极简扁平化架构设计。扁平化大二层组网,简化整网架构,无需进行复杂的网络配置和管理,降低运维管理难度,同时降低故障处理周期。

全光网络建设方案包含以太全光网络和 PON (Passive Optical Network, 无源光纤网络) 全光网络。其中,以太全光网络方案灵活性强,支持小局域网络组网,汇聚、接入交换机均可作为网关使用,东西向流量转发高效^[3]。但本质还是接入交换机的下沉,仍然需要在楼宇弱电间放

置有源的汇聚交换机，光模块数量多，投资相对较高。

PON 全光网络方案的优势在于其采用点对多点无源汇聚技术，有效减少了网络组网中光模块的数量，从而提高了网络的可靠性并实现了节能减排。此外，PON 全光网络支持集中管理和业务下发，具有较低的投资成本。但不足之处在于东西向流量转发能力弱，不能灵活地在校园网中增加一些局域专网。

综合上述方案优缺点及不同应用场景特点，本项目摒弃了“一刀切”的建设模式，采用“双模全光”融合组网方案，即根据校园内不同区域的功能属性和业务特征，部署两种优势互补的全光网络技术，在教学办公区使用以太全光网络方案，在宿舍区使用 PON 全光网络方案。

教学办公区——以太全光网络：该区域业务特点是东西向流量大（如实验室集群计算和跨部门数据共享）、网络拓扑灵活性要求高、需要支持多种复杂协议。以太全光方案采用光纤直接入室，房间内部署小型化全光接入交换机，通过独享光纤以 10G 速率上联至楼栋汇聚设备。方案本质是“光纤代替铜缆，交换机下沉”，具有高性能、低时延、灵活组网的优势，完美契合教学、科研、办公场景对网络品质的严苛要求。

宿舍区——无源光网络：该区域业务特征表现为用户密集、单点带宽需求相对均衡、以南北向（访问互联网和校园网资源）流量为主，且对建设与运维成本敏感。PON 方案采用点对多点拓扑，从中心机房的 OLT（Optical Line Terminal，光线路终端）通过无源分光器将一根主干光纤信号分配至多个宿舍房间的光网络终端。此方案最大优势在于“无源”分流，省去了楼层大量的有源交换设备和配套所需的供电、散热以及物理空间，极大简化了架构，降低了长期运维成本和能耗，实现了极高的性价比。

1.2.2 智能管控与安全层：软件定义，主动防御

本层是赋予网络“智慧”的大脑和免疫系统。项目部署了集中式管控、分布式执行的 SDN 智能管理平台。平台通过南向接口对全网超过 30000 台网络设备进行统一纳管，实现全网自动化运维，提供全网流量动态调度、策略下发、故障定位自愈、资源可视化监控、无线智能网优等智能管理运维能力。

此外，项目构建了“内生+外挂”一体化安全体系。交换机和网管部署内生安全组件，对网络设备进行入侵检测，与防火墙和 WAF（Web Application Firewall，Web 应用防火墙）等安全措施协同，提供多维度安全防护能力。

1.2.3 融合应用服务层：网络赋能，业务创新

本层是网络价值实现的窗口。高性能、高智能的网络基础设施为上层业务的创新提供了无限可能。项目重点围绕智慧教学、科研协作、校园治理等领域，孵化了一批标杆应用。

一是赋能教学发展，在全光网络基础上接入新型教室设备打造智慧教室，支持多媒体教学设备的高速互联，实现实时互动教学和资源共享，此外结合全光网的低延迟特性和 VR（Virtual Reality，虚拟现实）技术在工程实训中心开发 VR 虚拟装配综合实训课程，为学生提供沉浸式学习体验；二是支撑科学研究，科研数据（如实验数据、仿真模型、遥感图像）通常体量庞大，全光网提供的高速传输能力能够显著提升数据传输效率，同时多维度安全防护措施可确保科研数据在传输和存储过程中的安全性与完整性；三是支撑各业务专网组网，打造“5G+WiFi+IoT”超融合专网，实现安全可信基础上的无边界校园网覆盖，满足师生在校内外通过 5G 访问学校业务系统和电子图书资源的需求。构建消防专网，提供专属带宽保障，接入大量物联网设备，实现所有消防系统的可视化和智能化管理，有效提升火情防控及应急疏散能力。通过全光网的多应用场景部署，形成诸多智慧校园光网赋能的典型案列。

2 关键技术实现与部署方案

2.1 智慧光网部署方案

整体网络采用扁平化大二层组网, 简化整网架构, 核心汇聚骨干网络 100G 带宽, 接入层 10G 带宽, 光纤直达室内多媒体箱。校园网络划分为多个逻辑区域, 多个逻辑区域各司其职, 所有用户均在 BRAS (Broadband Remote Access Server, 宽带接入服务器) 上认证, 汇聚、接入设备不需要维护复杂的网络协议, 降低运维管理难度, 同时降低故障处理周期。各业务专网通过专网防火墙到校园网核心, 三层路由互通, 易于扩展和管理。

有线网和无线网分别独立组网, 西安两校区分别部署有线核心交换机和无线核心交换机, 有线核心交换机作为单个校区的校园网核心, 两校区有线核心交换机之间通过专线互联, 友谊校区作为校园网出口。根据“双模全光”融合组网方案, 两校区中心机房分别部署多个以太全光汇聚交换机和 OLT, 作为两校区各区域汇聚, 上行与核心交换机互联, 下行则根据校园内不同区域的功能属性分别组建以太全光网络和 PON 全光网络。

2.1.1 教学办公区以太全光网络

楼层汇聚全光交换机部署于楼栋弱电间, 上行与中心机房汇聚交换机相连, 有线网下行通过万兆光纤接到所有房间的室内接入交换机, 室内接入交换机连接所有终端。无线网各楼层分别部署接入交换机, 下行通过光电复合缆接到各房间的室内光 AP。教学办公区以太全光网络拓扑图如图 1 所示, 1:1 以太全光进房间, 独享光纤性能, 网络灵活扩展, 满足智慧教室大流量业务模型及办公智慧空间物联终端多协议接入需求。

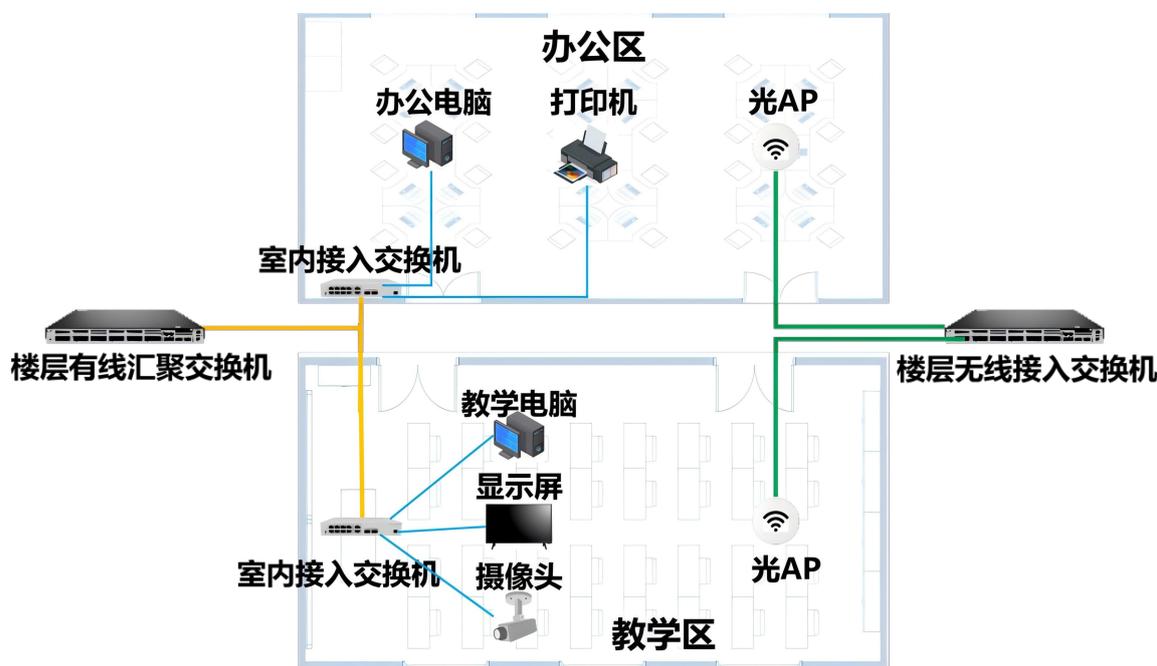


图 1 教学办公区以太全光网络

2.1.2 宿舍区 PON 全光网络

宿舍区采用光纤入室+光网络终端(ONU/光 AP)的方案, 其中有线网室内接入 ONU(Optical Network Unit, 光网络单元)具备 4/8 个以太网端口, 光 AP 支持 WiFi 6/7, 分别实现有线和

无线设备接入，同时支持多场景多配置组合应用。ONU 通过分光器接入中心机房 OLT，分光器采用 2:16 或 2:32 分光器，以机架式方式安装在弱电间机柜。宿舍区 PON 全光网络拓扑图如图 2 所示，此架构极大节省了空间，消除了噪音和散热问题，减少维护成本，同时其无源设计也可在一定程度上减少火灾安全隐患。

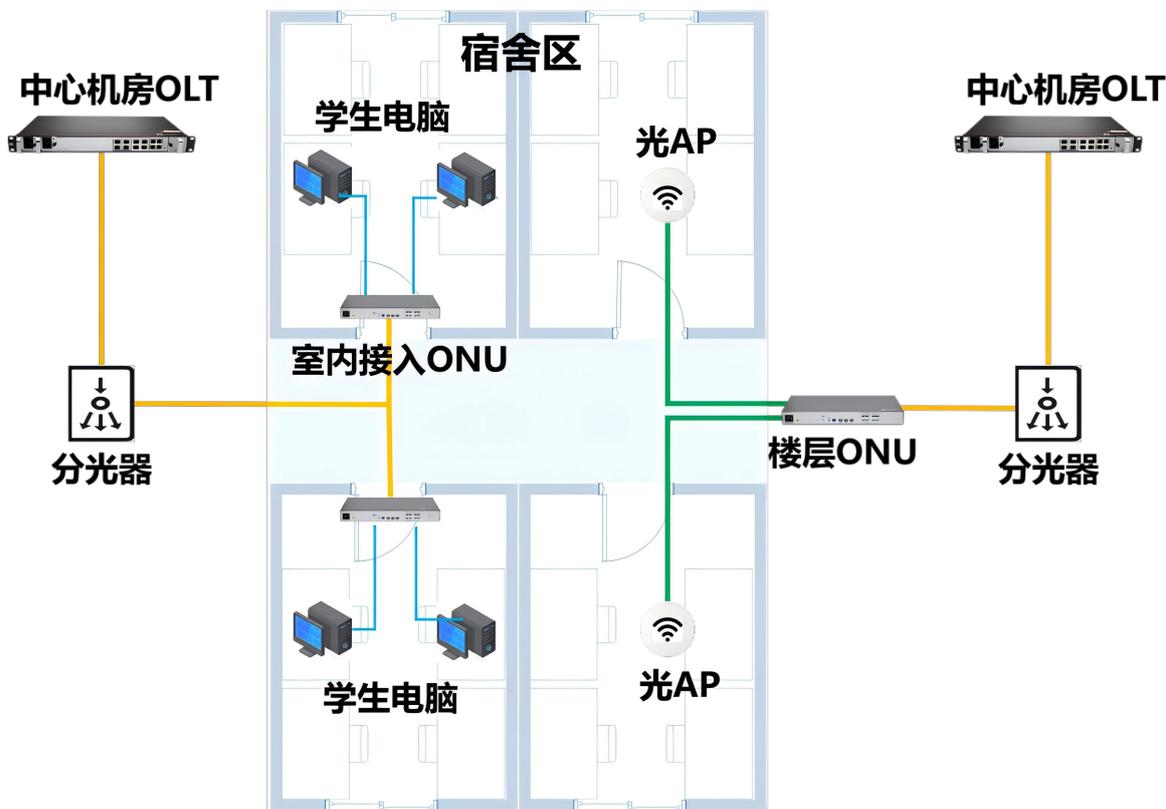


图 2 宿舍区 PON 全光网络

2.2 SDN 智能管理平台

本项目建设的 SDN 智能管理平台全面纳管学校全光网络，管理的设备规模超过 30000 台，因此平台采用 12 台服务器进行分布式模式部署，将网络管理平台各个功能模块拆分，分别部署在不同的服务器上，并通过多节点的方式实现平台的高可用性，同时保障平台的稳定性和功能任务下发的实时性。

全光网络架构由于其高带宽特性，可以承载大量的数据流量，SDN 智能管理平台能够根据实际流量需求，动态调整网络资源分配，自动识别并优先处理关键任务的流量，确保网络资源得到最有效利用。此外，传统的网络隔离往往依赖物理端口的划分，而 SDN 智能管理平台则打破了这一限制，其能够实现与终端位置无关、与中间网络无关、与接入方式无关的灵活隔离^[4]。该平台可自动识别终端属性、进行标记并动态分配策略，从而智能感知用户与设备状态，灵活适应不同强度的网络隔离需求。同时，SDN 智能管理平台支持预设初始配置模板，并允许管理员基于设备组批量部署策略，从而管理员无需逐一对每台设备进行配置，大幅减少了重复性操作，显著提升了运维效率。

2.3 “内生+外挂”一体化安全体系

内生安全体现在交换机和网管内部嵌入了内生安全组件，能够对设备自身的运行状态、协议

通信、流量模式进行实时监控与分析,及时发现并处置暴力破解、非法登录和破坏业务等“内生病灶”。同时,内生安全组件与传统防火墙和 WAF 等边界安全设备以及 SDN 智能管理平台联动,当内生安全组件或网络探针检测到威胁时,将检测结果上送态势感知平台进行综合分析,而后可通过 SDN 智能管理平台下发动态策略,快速隔离威胁源,实现从内到外的协同响应。通过设备安全态势和网络安全态势感知,实现校园整网安全态势可管可控。

3 光网改造赋能智慧校园场景

3.1 智慧教室

在部署了以太全光的教学楼内,智慧教室配备了双屏互动黑板、4K 全景摄像机、全向拾音麦和分组研讨屏等高性能视音频设备。全光网络保障了所有视音频数据、屏幕共享数据和师生互动数据的高质量、零卡顿实时传输。教师可一键发起“公开课直播”,全校范围内授权学生均可通过在线平台流畅观看,并可通过弹幕、提问等方式互动。督导人员也可远程实时观摩多个课堂,快速了解教室使用情况和学情统计信息,为教学过程的优化和管理提供支撑。

3.2 VR 虚拟装配综合实训

基于全光网络大带宽、低延迟特性,我校对金工实习装配课程进行改革,大力开展 VR 教学实训,形成独具特色的“VR 虚拟装配综合实训课程”,提高了学生学习兴趣和主动性。

课程包含 VR 虚拟实训培训和 VR 实训装配考核两个内容^[5]。在培训环节,实训系统通过语音、颜色变化等提醒方式,指导学生开展虚拟实训。学生佩戴 VR 头显,手持手柄模拟扳手、螺丝刀等工具,进行虚拟拆卸和装配操作。在考核环节,系统会记录全部操作过程并进行纠错。整个实训课程在安全可靠的虚拟环境中进行,既保证了学生的人身安全,又增强了学生的动手实践能力。而全光网络的大带宽、低延迟特性使得精细的 3D 模型得以实时渲染和同步,避免了因延迟导致的眩晕感,创造了高度逼真的沉浸式学习环境。

3.3 “5G+WiFi+IoT”超融合专网

结合全光网和 5G 技术,我校提出了全国首个可信可控的“5G+WiFi+IoT”超融合专网解决方案^[6]。该方案实现了 5G 新空口与 WiFi 网络的协同组网,在端到端架构层面完成深度融合,并依托统一的 5G 核心网平台进行集中管理、准入鉴权和策略下发。通过将 5G、WiFi、物联网及有线终端的数据传输全面整合,最终构建起“内外一张网、空地一张网、管理一张网”的新型校园网络体系。此举不仅能保障本地数据专属化、业务体验实时化和数据安全可靠化,也真正打破了校园资源的访问边界,真正意义上实现了校园网全面覆盖。同时基于网络切片技术,构建多种定制化的网络切片(如远程访问、教学传输切片、虚拟仿真切片、远程协作切片等),保障业务差异化运行,满足不同教育场景的需求。

3.4 消防联网监管系统

随着办学规模的持续扩张,校园安全需求日益提升,传统的消防系统逐渐显现出难以满足现代高校安全需求的弊端。我校利用全光网的高质量传输环境,对消防系统进行智能化改造和升级。改造完成后,消防网关将采集到气体灭火系统运行状态和火情报警信息,通过全光网提供的专用保障带宽,实时传送到消防综合管理平台处理,并在监控中心大屏上动态显示,值班人员确认火灾情况后,能够按照平台提供的楼宇平面、消防设施分布来启动相应的应急处理措施,从而进一步提升“平安校园”建设过程中火灾监测预警、应急救援、管理决策等各方面的处置效率和智能化水平,为全校师生学习与生活提供更加安全的校园环境。

4 结语

展望未来,西北工业大学“智慧光网”将继续演进。一方面,将深化 AI 技术在网络运维、安全分析、资源调度中的应用,实现网络的“自优化、自修复、自防御”。另一方面,将以网络为纽带,进一步打通数据整合平台,构建真正的“校园数字大脑”,为师生提供更加个性化、智能化的服务,全面支撑学校“双一流”建设和高质量发展,并为中国高等教育的信息化建设贡献“西工大方案”。

参考文献:

- [1] 康敏,郭记明. 机理、挑战与优化:数智技术赋能中华优秀传统文化“两创”的三维探赜[J]. 中关村, 2025, (09): 112-117.
- [2] 张传彪,张贺,沈世奎,等. 智慧城市中的光网络关键技术研究[J]. 通信世界, 2025, (16): 40-44.
- [3] 杨猛猛. 探讨未来智慧园区全光网络的建设方式[J]. 通讯世界, 2025, 32(06): 7-9.
- [4] 黄国林,钟培俊,余骏华. 华南理工大学 SDN 网络满足新兴教学模式需求[J]. 中国教育网络, 2020, (10): 50-52.
- [5] 王灵利,齐乐华,罗俊,等. VR 技术应用于工程实训课程探究——以西北工业大学的“VR 虚拟装配综合实训课程”为例[J]. 现代教育技术, 2022, 32(07): 85-92.
- [6] 王康,薛静. 西北工业大学 5G 超融合专网建设[J]. 中国教育网络, 2024, (04): 38-40.