

职业教育数字校园F5G全光网 技术应用及设计指南

工业和信息化部 教育部 人力资源和社会保障部 中国信息通信研究院 中国职业技术教育学会
工业和信息化部 教育部 人力资源和社会保障部 中国信息通信研究院 中国职业技术教育学会



职业教育数字校园 F5G 全光网

技术应用及设计指南

编写人员：（排名不分先后）

张 军	张锐利	赖 敏	黄艳华
黄雄波	陈杰新	钟机灵	黄永生
杨振宇	郑博闻	赵尚宇	田启明
卢竹林	孟宪宁	闫 鹏	杨瑞峰
刘朝阳	毛书朋	王玉清	肖 兵
赵 鹤	刘红梅	邬伟强	郑 飞
方才学	李奇国	余思东	郑建华
伍 军	李 伟	袁建明	曾国良
罗小平	王云鹏	杨 帆	肖 欣
朱 龙	卓 杰	张耀乐	叶镇振
黄铁兵	赵广复	何亚南	朱立彤
郭红艳	宋海军	熊 江	吴 寰
张胜强	林能影	王 觉	刘 岳
高洪福	邱 晔	文潇江	向正权
李东青	万席锋	张 翔	吴文竞
陈中洲	冯 义	张 磊	熊 宇

编写单位：（排名不分先后）

绿色全光网络技术委员会（ONA）

四川邮电职业技术学院

佛山职业技术学院

宁波城市职业技术学院

安徽交通职业技术学院

浙江金融职业学院

合肥职业技术学院

临汾职业技术学院

北京卫生职业学院

浙江经济职业技术学院

山西工程职业技术学院

铜陵职业技术学院

广安职业技术学院

广州松田职业学院

广西农业职业技术大学

郑州职业技术学院

清华大学建筑设计研究院有限公司

同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司

中国建筑西南设计研究院有限公司

中建西南院（山东）设计咨询有限公司

中国移动通信集团广东有限公司佛山分公司

长飞光纤光缆股份有限公司

华为技术有限公司

武汉职业技术大学

重庆航天职业技术学院

河源职业技术学院

青岛职业技术学院

温州职业技术学院

日照职业技术学院

北京农业职业学院

浙江财经大学

成都职业技术学院

四川工商学院

广西机电职业技术学院

昆明冶金高等专科学校

汕头职业技术学院

玉溪职业技术学院

中国五洲工程设计集团有限公司

中南建筑设计院股份有限公司

重庆市设计院有限公司

福建省建筑设计研究院有限公司

神州数码集团有限公司

上海诺基亚贝尔股份有限公司

PREFACE

前 言

在这个快速变迁的时代，职业教育正以前所未有的重要性进入公众视野。技术的革新、产业的升级等都在不断重塑着职业版图。职业教育是国民教育体系和人力资源开发的重要组成部分，发展职业教育，已成为世界各国应对经济、社会、人口、环境、就业等方面挑战，实现可持续发展的重要战略选择。

中国职业教育源远流长，从早期的师徒制教学到 19 世纪中叶创建的福建船政学堂等近代学校职业教育，职业教育始终与国家命运和家庭幸福紧密联系，承担着经世利民、求是致用的历史重任。

F5G 全光网络是新型网络基础设施，打造了大带宽、低时延和全光联接的新一代教育网络，助力智慧化教育体系搭建。目前产业上下游正持续加大 F5G 全光网络投入，不断丰富教育信息化示范场景，让学校实现智慧化转型，提供更加优质的服务。

职业教育数字校园 F5G 全光网技术应用及设计指南是在业界 F5G 全光院校的优秀设计经验基础上，归纳总结出的设计参考及推荐配置，供参考。

CONTENTS

目 录

前 言.....	1
目 录.....	2
第一章 职业教育发展环境分析.....	6
1.1 术语.....	7
1.2 缩略语.....	8
1.3 职业教育智慧化演进.....	9
1.3.1 职业教育的定义.....	9
1.3.2 职业教育政策牵引.....	10
1.3.3 职业教育体量持续增长.....	14
1.3.4 职业院校智慧化大势所趋.....	17
1.4 技术创新驱动职教智慧化发展.....	19
1.4.1 政策力推信息化技术创新.....	19
1.4.2 光进铜退是大势所趋.....	21
1.4.3 职业教育的基础设施.....	22
第二章 职业教育 F5G 全光网介绍.....	24
2.1 F5G 全光网网络架构.....	25
2.1.1 F5G 全光网定义.....	25
2.1.2 F5G 全光网技术演进.....	26

2.1.3	F5G 全光网架构及构成.....	27
2.2	F5G 全光网络技术特点	29
2.2.1	高带宽的特点	29
2.2.2	简架构的特点	32
2.2.3	易演进的特点	34
2.2.4	智运维的特点	36
2.2.5	绿色低碳的特点	38
2.3	F5G 全光网技术线路.....	40
2.3.1	GPON 和 EPON 的选择	40
2.3.2	PON 和 CWDM 的选择	44

第三章 职业教育 F5G 全光网应用场景和案例.....49

3.1	职业教育 F5G 全光网应用场景.....	50
3.1.1	教室场景	52
3.1.2	实训室场景	53
3.1.3	办公场景	55
3.1.4	宿舍场景	56
3.1.5	平安校园场景	58
3.2	职业教育 F5G 全光网应用现状.....	59
3.2.1	佛山职业技术学院	60
3.2.2	重庆航天职业技术学院	62
3.2.3	安徽交通职业技术学院	64
3.2.4	浙江金融职业学院	66
3.2.5	青岛职业技术学院	68
3.2.6	河源职业技术学院	70

3.2.7	宁波城市职业技术学院	72
-------	------------------	----

第四章 职业教育 F5G 全光网规划指南 74

4.1	F5G 全光网网络设计原则	75
4.1.1	职业教育的范围	75
4.1.2	网络设计原则	75
4.2	F5G 全光网组网模式.....	76
4.2.1	F5G 全光网络组网.....	76
4.2.2	F5G 全光网建网模式.....	77
4.3	F5G 全光网保护方式选择	78
4.3.1	Type B 保护方式	78
4.3.2	Type C 保护方式	79
4.4	F5G 全光网 PON 技术选择	80
4.4.1	PON 的技术差异.....	80
4.4.2	PON 技术选择原则.....	81
4.5	F5G 全光网信息点部署指南.....	82
4.5.1	教室场景.....	83
4.5.2	办公场景.....	86
4.5.3	宿舍场景.....	86
4.5.4	平安校园场景.....	88

第五章 职业教育 F5G 全光网配置指南 89

5.1	F5G 全光网 ONU 选择.....	90
5.1.1	ONU 选择原则	90
5.1.2	ONU 选型指导	90

5.1.3	ONU 部署位置	95
5.2	F5G 全光网信息配线箱选择	97
5.2.1	嵌墙安装信息配线箱	97
5.2.2	挂墙安装信息配线箱	100
5.2.3	办公家具安装信息配线箱	102
5.2.4	86 信息面板底盒	103
5.3	F5G 全光网光纤及光分路器选择	105
5.3.1	光纤种类选择	105
5.3.2	光分路器选型指南	106
5.3.3	光分路器部署位置	112
5.4	OLT 设备选择和部署	114
5.4.1	OLT 设备选择原则	114
5.4.2	OLT 选型指南	115
5.4.3	OLT 设备部署位置	116
第六章 职业教育发展展望		118
6.1	职业教育是未来的战略方向	119
6.2	职业教育的产教融合演进趋势	119
6.3	职业教育的数智化演进趋势	121
6.4	职业教育的区域均衡与国际化趋势	122
6.5	F5G 全光网在职业教育的应用前景	123
声 明		126

第一章

职业教育发展环境分析



1.1 术语

F5G: The 5th Generation Fixed Networks, 第五代固定网络, 以 10G PON, Wi-Fi 6; 单波 200G/400G、下一代 OTN 等为代表技术。

F5G 全光网: 采用 F5G 建设的全光园区网络, 主要包括 F5G 无源光局域网 (POL), 同时也包含 F5G 全光承载网。

无源光局域网 POL: Passive Optical LAN, 基于无源光网络 PON 技术的局域网组网方式。该组网方式采用无源光通信技术为用户提供融合的数据、语音、图像、多媒体等信息通信业务。

无源光网络 PON: Passive Optical Network, 由光线路终端 (OLT)、无源的光分配网 (ODN)、光网络单元 (ONU) 组成。

光分配网 ODN: Optical Distribution Network, PON 系统中 OLT 与 ONU 之间的光传输物理通道, 由光纤、光分路器以及安装连接无源光器件的配套设备组成。

光分路器: Optical Fiber Splitter, 是一种可以将一路或两路光信号分成多路光信号以及完成相反过程的无源器件, 本文中的光分路器指的是基于光功率均分分路的器件。

Type B 保护: Type B Protection, PON 网络中 OLT 的 PON 口、主干光缆均双路冗余的保护方式。

Type C 保护: Type C Protection, PON 网络中 OLT 的 PON 口, 主干光缆、光分路器、用户光缆和 ONU PON 上行口均双路冗余的保护方式。

主干光缆: Main Fiber Optical Cable, OLT 处配线设备至各光分路器处配线设备之间的光缆;

用户光缆: Subscriber Optical Cable, 光分路器处配线设备至各 ONU 或 ONU 处配线设备之间的光缆。

1.2 缩略语

AES: Advanced Encryption Standard, 高级加密标准。

AI: Artificial Intelligence, 人工智能。

AP: Access Point, 接入点。

AR: Augmented Reality, 增强现实。

CATV: Community Antenna Television, 有线电视网络。

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing, 稀疏波分复用。

DBA: Dynamic Bandwidth Allocation, 动态带宽分配。

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol, 动态主机配置协议。

DNS: Domain Name System, 域名解析系统。

eFBB: enhanced fixed broadband, 增强型固定宽带。

eMDI: Enhanced Media Delivery Index, 增强型媒体传输质量指标。

ETSI: European Telecommunications Standards Institute, 欧洲电信标准协会。

F5G: The 5th Generation Fixed Networks, 第五代固定网络。

FFC: Full-fiber connection, 全光联接。

FTTH: Fiber to the Home, 光纤到家庭用户。

GPON: Gigabit-capable Passive Optical Network, 吉比特无源光网络。

GRE: Guaranteed reliable experience, 极致体验。

IEEE: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 美国电气及电子工程师学会。

IoT: Internet of Things, 物联网

IP-PBX: IP Private branch exchange, IP 化的用户交换机。

IPTV: Internet Protocol Television, IP 电视

ITU: International Telecommunication Union, 国际电信联盟。

LoRa: Long Range, 远程物联网。

NTP: Network Time Protocol, 网络时间协议。

OLT: Optical Line Terminal, 光线路终端。

ODF: Optical Fiber Distribution Frame, 光配线架。

ODN: Optical Distribution Network, 光分配网络。

OMCI: Optical network terminal Management and Control Interface, 光网络终端管理控制接口。

ONU: Optical Network Unit, 光网络单元。

OTN: Optical Transport Network, 光传送网。

OXC: Optical Cross-Connect, 光交叉连接。

PC: Personal Computer, 个人电脑。

PON: Passive Optical Network, 无源光网络。

POL: Passive Optical Local Area Network, 无源光局域网。

POTS: Plain Old Telephone Service, 模拟电话业务。

VDSL: Very-high-data-rate Digital Subscriber Line, 超高速数字用户线路。

VPN: Virtual Private Network, 虚拟专用网络。

VR: Virtual Reality, 虚拟现实。

XGS-PON: 10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network, 10Gbit/s 对称无源光网络。

50G-PON: 50 Gigabit-capable symmetric Passive Optical Networks, 50G 比特无源光网络。

1.3 职业教育智慧化演进

1.3.1 职业教育的定义

职业教育是指为了培养高素质技术技能人才，使受教育者具备从事某种职业或者实现职业发展所需要的职业道德、科学文化与专业知识、技术技能等职

业综合素质和行动能力而实施的教育，包括职业学校教育和职业培训。

职业学校教育分为中等职业学校教育、高等职业学校教育。中等职业学校教育由高级中等教育层次的中职学校（含技工学校）实施。高等职业学校教育由专科、本科及以上教育层次的高等职业学校和普通高等学校实施，符合条件的技师学院也纳入高等职业学校序列。

职业教育是与普通教育具有同等重要地位的教育类型，是国民教育体系和人力资源开发的重要组成部分，是培养多样化人才、传承技术技能、促进就业创业的重要途径。国家大力发展职业教育，推进职业教育改革，提高职业教育质量，增强职业教育适应性，建立健全的职业教育制度体系，为国家提供有力人才和技能支撑。

中国现行学制明确了职业教育与普通教育具有同等重要的地位，如下图所示。

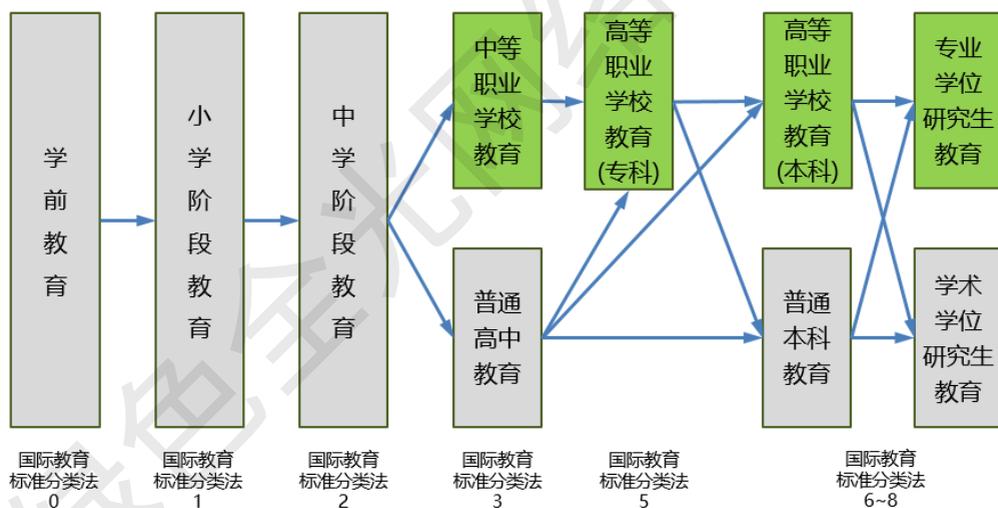


图 1-1 职业教育与普通教育具有同等重要地位

1.3.2 职业教育政策牵引

中国高度重视和发展职业教育，把职业教育作为国民教育体系和人力资源开发的重要组成部分，赋予职业教育培养多样化人才、传承技能、促进就业创业的重要职责。

中国高度重视职业教育立法工作及相关政策的推动。1996年颁布实施了《中华人民共和国职业教育法》，标志职业教育发展进入法治化的轨道。在2022年4月20日，第十三届全国人民代表大会常务委员第三十四次会议通过了《中华人民共和国职业教育法》修订，并自2022年5月1日起施行。《中华人民共和国职业教育法》对职业教育体系、职业教育的实施等进行了详细的定义和要求。国内除了通过法律固化职业教育的基本经验及制度成果外，还持续制定很多相关政策推动职业教育的发展。

表 1-1 职业教育的相关政策

政策名称	国务院关于印发国家职业教育改革实施方案的通知 (国发〔2019〕4号)		
发布机构	国务院	发布日期	2019年01月24日
相关内容	提出“职教20条”，职业教育与普通教育具有同等重要地位，明确职业教育改革的方向和重点任务，包括完善职业教育体系、深化产教融合、校企合作、提升职业教育质量等。		
政策名称	教育部等九部门关于印发《职业教育提质培优行动计划（2020—2023年）》的通知（教职成〔2020〕7号）		
发布机构	教育部等九部门	发布日期	2020年09月23日
相关内容	深化产教融合、校企合作，强化工学结合、知行合一，健全德技并修的育人机制；推进体制机制、教育教学、评价体系改革；完善标准落地的工作机制；地方主责，协同推进。构建政府行业企业学校协同推进职业教育高质量发展的新机制。		
政策名称	中华人民共和国民办教育促进法实施条例 (国令第741号)		
发布机构	国务院	发布日期	2021年05月14日
相关内容	实施职业教育的公办学校可以吸引企业的资本、技术、管理等要素，举办或者参与举办实施职业教育的营利性民办学校。国家鼓励企业以独资、合资、合作等方式依法举办或者参与举办实施职业教育的民办学校。		

政策名称	中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》（2021年第30号国务院公报）		
发布机构	中共中央办公厅、国务院办公厅	发布日期	2021年10月12日
相关内容	全文共7个部分22条。阐述了强化职业教育类型特色，完善产教融合办学体制，创新校企合作办学机制，深化教育教学改革，打造中国特色职业教育品牌等；2025年基本建成现代职业教育体系，技能型社会建设全面推进；2035年职业教育整体水平进入世界前列，技能型社会基本建成。		
政策名称	中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于深化现代职业教育体系建设改革的意见》（2023年第1号国务院公报）		
发布机构	中共中央办公厅、国务院办公厅	发布日期	2022年12月27日
相关内容	提出了“一体、两翼、五重点”。“一体”即探索省域现代职业教育体系建设新模式，在产教融合、职普融通等方面改革突破，形成有利于职业教育发展的制度环境和生态，形成一批可复制、可推广的新经验新范式。“两翼”即市域产教联合体和行业产教融合共同体：一为省级政府以产业园区为基础，打造兼具人才培养、创新创业、促进产业经济高质量发展功能的市域产教联合体；二为优先选择重点行业/领域，支持龙头企业和高校/职校牵头，组建跨区域产教融合共同体，面向行业企业员工开展岗前培训、岗位培训和继续教育，建设技术创新中心。“五重点”即围绕职业教育自立自强设计的五项重点工作：提升职业学校关键办学能力、加强“双师型”教师队伍建设、建设开放型区域产教融合实践中心、拓宽学生成长成才通道、创新国际交流与合作机制。		
政策名称	国家发展改革委等部门关于印发《职业教育产教融合赋能提升行动实施方案（2023—2025年）》的通知 （发改社会〔2023〕699号）		
发布机构	国家发展改革委、教育部、工业和信息化部、财政部、	发布日期	2023年06月08日

	人力资源社会保障部、自然资源部、中国人民银行、国务院国资委		
相关内容	<p>统筹推动教育和产业协调发展，创新搭建产教融合平台载体，推进产教融合建设试点，以教促产、以产助教，完善落实组合式激励赋能政策体系，将产教融合进一步引向深入。到2025年，国家产教融合试点城市达到50个左右，建设100个高水平、专业化、开放型产教融合实训基地，在全国建设培育1万家以上产教融合型企业。各类资金渠道对职业教育投入稳步提升，产业需求更好融入人才培养全过程，逐步形成教育和产业统筹融合、良性互动的发展格局。</p>		
政策名称	教育部办公厅关于公布首批“十四五”职业教育国家规划教材书目的通知（教职成厅函〔2023〕19号）		
发布机构	教育部办公厅	发布日期	2023年06月19日
相关内容	<p>确定7251种教材入选首批“十四五”职业教育国家规划教材（以下简称“十四五”国规教材），涵盖全部19个专业大类、1382个专业。明确落实要求，抓好教材选用；明确要求，规范标识使用；紧跟产业，及时修订更新；示范引领，巩固建设成效。</p>		
政策名称	教育部办公厅关于加快推进现代职业教育体系建设改革重点任务的通知（教职成厅函〔2023〕20号）		
发布机构	教育部办公厅	发布日期	2023年07月07日
相关内容	<p>加快构建央地互动、区域联动、政行企校协同的职业教育高质量发展新机制，有序有效推进现代职业教育体系建设改革。打造市域产教联合体；打造行业产教融合共同体；建设开放型区域产教融合实践中心；持续建设职业教育专业教学资源库；建设职业教育信息化标杆学校；建设职业教育示范性虚拟仿真实训基地；开展职业教育一流核心课程建设；开展职业教育优质教材建设；开展职业教育校企合作典型生产实践项目建设；开展具有国际影响的职业教育标准、资源和装备建设；建设具有较高国际化水平的职业学校。</p>		

政策名称	中共中央 国务院印发 《教育强国建设规划纲要（2024—2035 年）》		
发布机构	中共中央 国务院	发布日期	2025 年 01 月 19 日
相关内容	加快建设现代职业教育体系，培养大国工匠、能工巧匠、高技能人才。塑造多元办学、产教融合新形态。以职普融通拓宽学生成长成才通道。提升职业学校关键办学能力。优化技能人才成长政策环境。		

1.3.3 职业教育体量持续增长

中国已建成世界规模最大的职业教育体系，职业学校每年培养毕业生超过 1000 万名，开展职业培训约 1300 万人次。现代制造业、战略性新兴产业和现代服务业等领域的一线新增从业人员 70% 以上来自职业学校。形成了中等职业教育-高等职业教育（专科）-高等职业教育（本科）的层级结构，高等职业教育（专科）的主体地位不断增强，高等职业教育（本科）稳步发展。

2023 年，国内共有职业学校 11133 所，其中中等职业学校 9553 所，高等职业学校（专科）1547 所，高等职业学校（本科）33 所，呈现中等职业学校数量缓慢减少，高等职业学校数量稳步增长的发展态势。2012 年~2023 年职业学校数量变化如下图所示。（数据来源：2024 年中国职业教育发展报告）

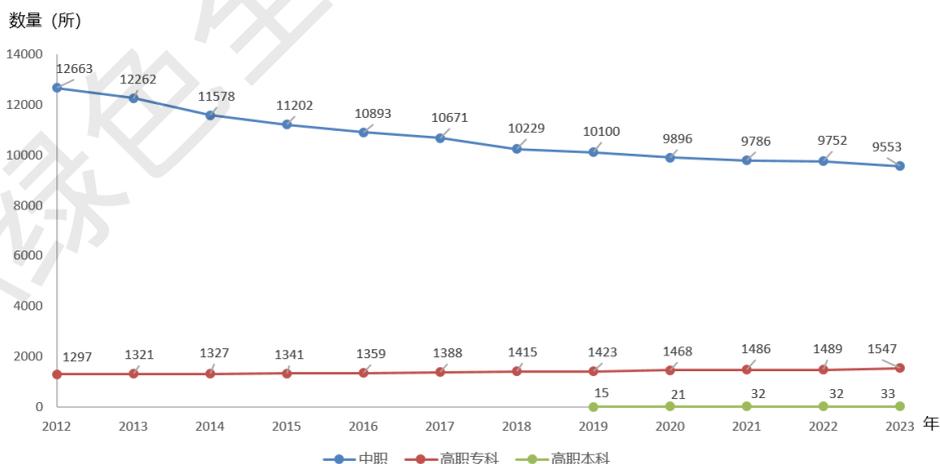


图 1-2 2012 年~2023 年职业学校数量变化

2023 年国内职业学校在校生 3478.3 万人，其中中等职业学校 1738.0 万人、高等职业学校（含高职本科）1740.3 万人。2012 年~2023 年职业教育在校生数量变化如下图所示。（数据来源：2024 年中国职业教育发展报告）

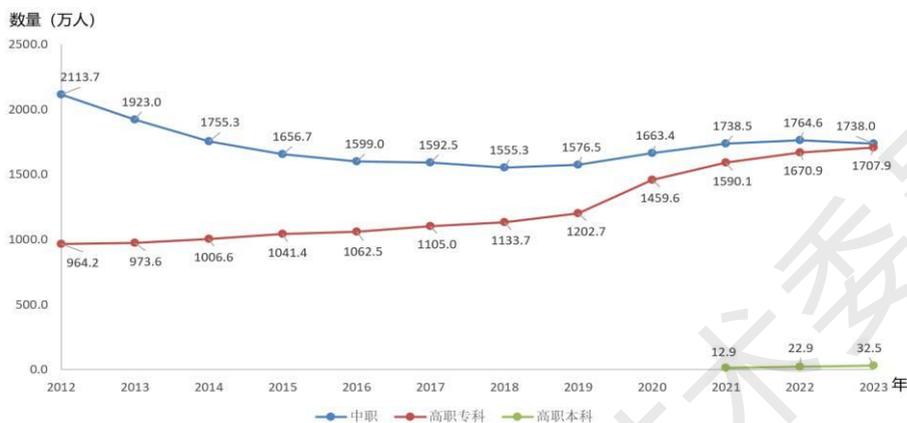


图 1-3 2012 年~2023 年职业教育在校生数量变化

2022 年职业学校毕业生突破 1000 万人，2023 年达到 1094 万人。新增城镇就业人口中，高等职业学校毕业生占比稳步增加，2020 年突破 30%，2022 年突破 40%，2023 年达到 44.77%。2012 年~2023 年高职毕业生和新增城镇就业人口变化如下图所示。（数据来源：2024 年中国职业教育发展报告）



图 1-4 2012 年~2023 年高职毕业生和新增城镇就业人口变化

职业学校教师数量稳步增长。职业学校专任教师总数从 2012 年的 130.44 万人逐步增加到 2023 年的 145.02 万人；兼职教师队伍不断扩大，2023 年达到 25.37 万人，较上一年增加 9.40%。其中大国工匠、劳动模范超过 8000 人，行

业导师承担的年课时总量达 4.28 亿学时。2012 年~2023 年高职毕业生和新增城镇就业人口变化如下图所示。

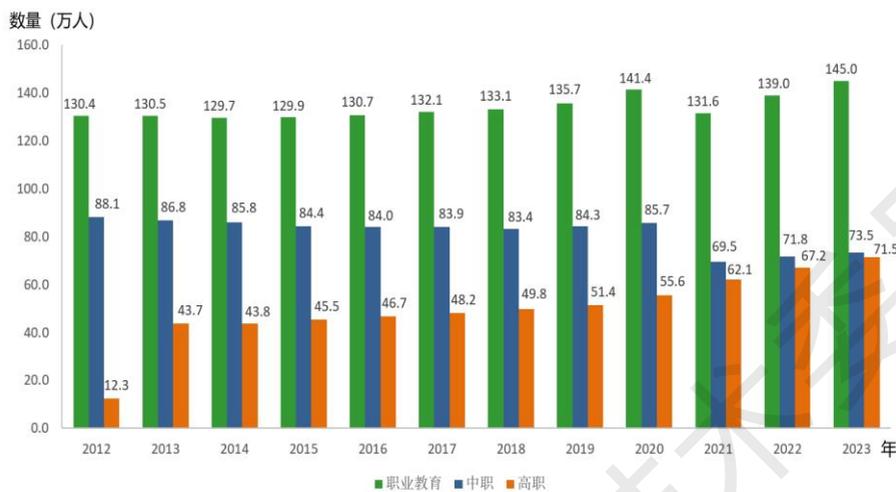


图 1-5 2012 年~2023 年职业教育专任教师数量变化

国内正在主动建设、整合、调整中等和高等职业学校，优化省域职业学校布局。当前全国省级行政单位均办有职业学校，高等职业学校省均 52 所。2022 年各省/区/市高等职业学校数量如下图所示。（数据来源：教育部 2022 年教育统计数据）



图 1-6 2022 年各省/区/市高等职业学校数量

1.3.4 职业院校智慧化大势所趋

国家和教育部关心职业教育的信息化、数字化和智慧化的发展，大力推动新型技术在职业教育中的应用，职业院校数字校园已成为支撑教育教学、沟通校企合作、促进师生发展的必需环境。

2012年5月4日，教育部发布了“教育部关于加快推进职业教育信息化发展的意见”（教职成〔2012〕5号），提出全面加强信息技术支撑职业教育改革发展的能力，以先进教育技术改造传统教育教学，以信息化促进职业教育现代化；把信息技术创新应用作为改革和发展职业教育的关键基础和战略支撑。提出到2015年，90%的职业院校建成运行流畅、功能齐全的校园网，信息技术能够支撑学校教育、教学、管理、科研等各项应用；85%的职业院校按标准建成数字校园；90%的成人学校及其他职业培训机构实现网络宽带接入；明确各地和职业院校要建设宽带、泛在、安全的网络基础设施，推广应用多媒体教室、数字化实验室、远程协作教室等职业教育信息化环境，促进常规装备和信息化装备协同融合。

2018年4月13日，教育部印发了“教育部关于印发《教育信息化2.0行动计划》的通知”（教技〔2018〕6号），提出了“三全两高一大”的发展目标，要求教学应用覆盖全体教师、学习应用覆盖全体适龄学生、数字校园建设覆盖全体学校，信息化应用水平和师生信息素养普遍提高，建成“互联网+教育”大平台。并要求升级职业教育专业教学资源库建设，丰富职业教育学习资源系统。并要求持续推进“网络学习空间人人通”专项培训。继续开展职业院校和中小学校长、骨干教师的“网络学习空间人人通”专项培训，培训1万名中小学校长、2万名中小学教师、3000名职业院校校长、6000名职业院校教师，并带动地方开展更大范围的培训。

2020年6月16日，教育部发布“教育部关于发布《职业院校数字校园规范》的通知”（教职成函〔2020〕3号），将“职业院校数字校园”界定为：“网上虚拟校园与现实物理校园深度融合、良性互动的信息化环境，支持职业

院校实现混合教学、泛在学习、个性化学习、精细化管理和智能化服务，通过信息化支撑、引领驱动职业院校现代化进程。”，数字校园借助各类信息技术应用，将数字化、网络化、智能化渗透在教育教学、学校管理、校园生活、文化传承、社会服务等各方面，并构建以大数据管理为核心的一体化信息服务平台，提升院校信息化服务水平与治理能力，促进院校改革发展；同时强调了“驱动职业院校现代化进程”，具体体现为“构建信息技术支持的工学环境，数字化融入实习实训，支持高素质技术技能型人才培养，构建网络化职业教育和培训平台，满足学历证书与职业技能等级证书互相衔接的管理需求，支持终身化职业发展”。

《职业院校数字校园规范》明确提出各种新技术的核心都是数字化，“数字化”是教育信息化的基本特征；智能校园或智慧校园是数字校园发展的高级形态，是今后发展的方向，鼓励有条件的职业院校先行先试。

表 1-2 职业院校数字校园规范具体内容

章节	内容	描述
第 1 部分	引言	说明了《规范》的适用范围、数字校园的内涵以及实施的指导思想
第 2 部分	总体要求	说明了职业院校数字校园的意义与作用、目标与原则、内容与组成等内容
第 3 部分	师生发展	规定了数字校园促进学生发展和教师发展的内容、要求与目标，以及数字校园实施过程中对教师专业发展保障措施的要求
第 4 部分	数字资源	规定了职业教育中使用的三类数字资源的要求，以及数字资源管理与共享的要求
第 5 部分	教育教学	规定了数字校园中教育教学的要求，包含总体要求、产教融合办学、信息化人才培养、信息化教学与培训、信息化教研科研、信息化教学管理与评价
第 6 部分	管理服务	规定了数字校园中管理服务的要求，包含总体要求、一站式服务平台、校务服务、业务管理与服务以及校园生活服务等
第 7 部分	支撑条件	规定了数字校园中支撑条件的要求，包括信息化基础设施、教学环境建设、仿真实训系统环境、平安校园和后勤服务等

章节	内容	描述
第 8 部分	网络安全	规定了数字校园中网络安全的要求，包括总体要求、网络安全防护与管理、网络安全系统与设备、网络内容安全与舆情、网络安全能力建设等
第 9 部分	组织体系	规定了职业院校数字校园的体制机制和实施规范方面的要求
第 10 部分	评价指标	提出了职业院校数字校园评价指标体系，由一级、二级、三级指标及其观测点构成，分为高等职业学校和中等职业学校两类
第 11 部分	附录	列出了本规范引用到的其他规范文件，标注了使用但并非本规范规定的术语、符号和缩略语等

1.4 技术创新驱动职教智慧化发展

1.4.1 政策力推信息化技术创新

创新是引领发展的第一动力，是我国建设现代化经济体系的战略支撑。固定网络通信技术具有发展速度快、技术更新迭代周期短、对业务应用支撑显著等特点。我国政府高度重视网络技术的发展，在《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023 年）》中更是明确提出要加强核心技术研发和标准研制，鼓励龙头企业、科研机构等加大超高速光纤传输、下一代光网络技术等的研发投入，深入参与国际标准化工作，加强团体标准研制，形成我国“双千兆”网络技术核心竞争力。

随着“千兆光网”的逐渐普及，国家也在大力推动下一步的“万兆光网”的试点及落地。万兆光网是下一代光网络的升级演进方向，是新型信息基础设施的重要组成部分。为有序推进万兆光网试点应用，推动网络向超高速、大容量、智能化升级演进，助力推进新型工业化，国内已组织开展万兆光网试点工作。以下是国家近年来在固定网络通信技术方面顶层设计的相关政策和政策推动。

表 1-3 信息化技术创新及政策推动

政策名称	关于印发信息通信行业发展规划（2016—2020 年）的通知 （工信部规〔2016〕424 号）		
发布机构	工业和信息化部	发布日期	2016 年 12 月 18 日
相关内容	优化网络结构布局。以数据中心为核心，打破传统地域和行政区划组网模式，推动传统网络的转型升级，构建能够支撑互联网业务发展的新型网络。		
政策名称	中华人民共和国国民经济和社会发展 第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要		
发布机构	全国人民代表大会	发布日期	2021 年 3 月 12 日
相关内容	围绕强化数字转型、智能升级、融合创新支撑，布局建设各类信息基础设施、融合基础设施、创新基础设施等新型基础设施。建设高速泛在、天地一体、集成互联、安全高效的信息基础设施，增强数据感知、传输、存储和运算能力，推广升级千兆光纤网络的应用普及。		
政策名称	关于印发《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021—2023 年）》的通知（工信部通信〔2021〕34 号）		
发布机构	工业和信息化部	发布日期	2021 年 3 月 24 日
相关内容	加强核心技术研发和标准研制。鼓励龙头企业、科研机构等加大超高速光纤传输、下一代光网络技术和无线通信技术等的研发投入，深入参与国际标准化工作，加强团体标准研制，形成我国“双千兆”网络技术核心竞争力。千兆光纤网络具备覆盖 4 亿户家庭的能力，10G-PON 及以上端口规模超过 1000 万个，千兆宽带用户突破 3000 万户。		
政策名称	关于印发“十四五”数字经济发展规划的通知 （国发〔2021〕29 号）		
发布机构	国务院	发布日期	2021 年 12 月 12 日
相关内容	加快建设信息网络基础设施，协同推进千兆光纤网络和 5G 网络基础设施建设。有序推进基础设施智能升级，稳步构建智能		

	高效的融合基础设施，提升基础设施网络化、智能化、服务化、协同化水平。高效布局人工智能基础设施，		
政策名称	关于印发“十四五”全国城市基础设施建设规划的通知 (建城〔2022〕57号)		
发布机构	住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会	发布日期	2022年07月07日
相关内容	构建信息通信网络基础设施系统。推进第五代移动通信技术(5G)网络设施规模化部署，推广升级千兆光纤网络设施。城市基础设施智能化建设行动，加快建设“千兆城市”。严格落实新建住宅、商务楼宇及公共建筑配套建设光纤等通信设施的标准要求，促进城市光纤网络全覆盖。加速光纤网络扩容提速，积极推进光纤接入技术演进，建设高速信息通信网络，全面开展家庭千兆接入和企业万兆接入升级改造，推动实现光纤到桌面、光纤进车间。		
政策名称	关于开展万兆光网试点工作的通知 (工信厅通信函〔2025〕3号)		
发布机构	工业和信息化部办公厅	发布日期	2025年01月02日
相关内容	开展“万兆小区”、“万兆工厂”和“万兆园区”试点，在小区、工厂、园区等重点场景，开展万兆光网试点，实现50G-PON(无源光网络)超宽光接入、FTTH(光纤到户)/FTTR(光纤到房间)与第7代无线局域网协同、高速大容量光传输、光网络与人工智能融合等技术的部署应用。		

1.4.2 光进铜退是大势所趋

自1966年高锟博士论证了光纤通信的可行性后，光纤通信开始快速发展，人类进入光纤通信时代。光纤通信技术在学术界和工业界均取得了突破性的发展，光纤成为20世纪最重要的发明，是构建万物互联世界的基石。光纤已在家庭宽带市场成为绝对主流的接入手段，并逐渐延伸至教育院校、医院、办公园区、工厂等其他各种场景。

欧洲电信标准协会（ETSI）于 2020 年 2 月举办了“Fibre to Everywhere”F5G 线上发布会，面向全球宣布成立 F5G 产业工作组，致力于研究固定网络的代际演进和长期发展，推动从光纤到户（FTTH）迈向光联万物，为产业的发展指明了方向。相较于使用传统铜线作为主要传输介质，F5G 全光网不仅具备大带宽、低时延、高稳定的全光联接特性，还在远距离传输、原材料消耗、碳排放、使用寿命等方面有着明显的优势。在《“十三五”国家信息化规划》中明确提出要加快光纤到户网络改造和骨干网的优化升级，并推进光网城市建设，加快推进光缆到行政村，进一步推动了 F5G 全光网在我国网络基础设施中的应用。

随着智慧校园万物互联的发展趋势，职业教育校园的内部办公、财务、教室、能源、安防等内部网络的联接将会以指数级增长。F5G 全光网将推动光纤网络进一步延伸覆盖到职业院校的每一个场景，从光纤到校园，到教室和宿舍，到办公桌面，到教学设备，最终迈向光联万物。

1.4.3 职业教育的基础设施

校园信息化基础设施包括校园弱电系统、校园网络、物联网终端系统、数据中心机房、信息系统基础设施与网络信息服务等。相关的基础设施需考虑采用光进铜退等新型技术手段。

校园弱电系统包括弱电管网系统和综合布线系统，需要进行统筹规划建设 and 统一管理，充分满足校园网络、固话及移动通讯、平安校园、后勤管理、智能教室、校园卡、信息发布等各类数字校园系统的需求，考虑合理的冗余，满足可靠性及对后续新业务的支撑要求。

校园网络是一个高速实用、稳定可靠、安全可控、管理完善和多业务融合的基础承载网络，支撑各类终端泛在接入和泛在信息服务，校园网络可采用光纤网络技术。

数据中心机房是集中放置服务器、存储器、网络设备等信息技术设施设备

的建筑场所，包括主机房、辅助区、支持区和行政管理区等。信息系统基础设施是指承载各类信息化应用的云计算系统和基础软件资源环境。

职业院校配置的基本网络信息服务包括域名解析系统（DNS）、电子邮件（E-mail）、网站或网站群系统、网络时间协议（NTP）、虚拟专用网络（VPN）服务、动态主机配置协议（DHCP）等；扩展网络信息服务包括公共视频系统（视频会议、视频直播与点播）、IP 电视（IPTV）、云存储服务等。

职业院校构建 IT 运维管理体系，规范运维和服务流程，明确运维人员职责，建立统一、清晰的资产和服务台账，完善运维和服务的考核指标，提高运行效率、降低运行成本，提升校园信息服务的可用性、可靠性、安全性和可持续性。

职业院校基础设施还有提升的空间，当前已实现校园网有线网完全覆盖的院校只有 60%左右，需继续大力采用 F5G 全光网等进行建设。（数据来源：清华大学教育研究院 职业教育数字化发展报告 2023 版）

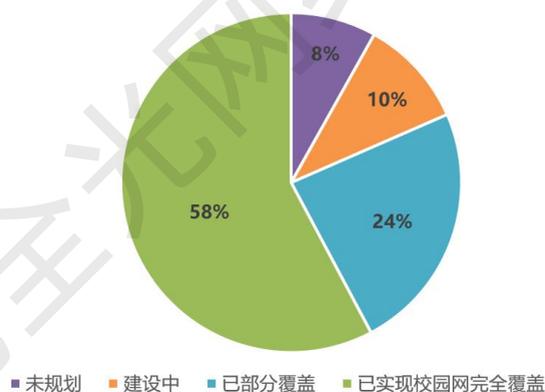


图 1-7 2023 年职业院校有线网覆盖情况

职业教育的基础措施需顺应光进铜退的趋势，采用 F5G 全光网等新型技术建设，通过光纤下沉，实现光纤到房间、光纤到桌面，提供更高的带宽，更低的时延，更稳定可靠的连接。此外，由于光纤的带宽可演进性很高，已采用 F5G 全光网建设的无源光纤网络可支持后续持续的带宽演进，可极大保护基础设施网络建设投资。

第二章

职业教育 F5G 全光网介绍



2.1 F5G 全光网网络架构

2.1.1 F5G 全光网定义

第五代固定网络 F5G 是由中国提出，欧洲电信标准协会 ETSI 接纳，由业界广泛参与的一代固定网络。

2020 年 2 月，ETSI 面向全球宣布成立 F5G 产业标准工作组，提出了从“光纤到户”迈向“光联万物（Fibre to Everywhere）”的产业愿景。2020 年 9 月，ETSI 发布《F5G 代际定义标准》，确定 F5G 三个主要特征：增强固定宽带 eFBB、全光联接 FFC 和可保障品质的体验 GRE。F5G 的参与者包含诸多机构成员，包括电信运营商（中国电信、中国联通、意大利电信、法国电信等）、设备商（华为、烽火、康普等）、研究机构（中国信通院、英国标准研究所等），ETSI F5G 标准组的会员超过了 100 家。

F5G 与 5G 是协同关系，F5G 的有线网络和 5G 的无线网络互相补充，为万物感知和网络应用赋能。ETSI 预测 F5G 与 5G 将一同开启万物互联时代。F5G 的代表性技术为 10G PON 技术及 Wi-Fi6 技术等，并逐渐往 50G-PON 和 Wi-Fi 7 等技术演进。

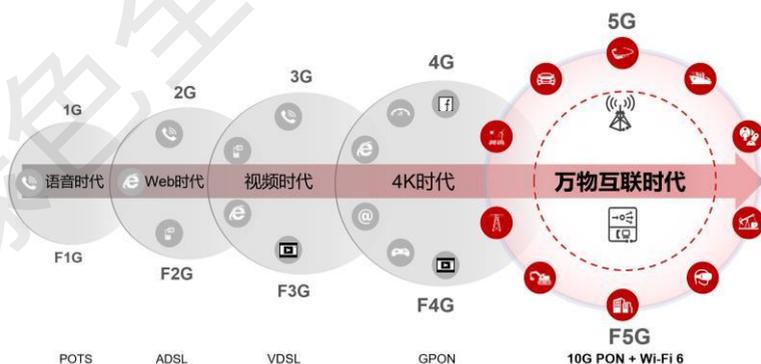


图 2-1 F5G 网络代际定义

本文中的 F5G 全光网主要指采用 F5G 无源光局域网（POL）建设的校园网络，同时也包含了用于职业院校多校区之间互连的 F5G 全光承载网络。

2.1.2 F5G 全光网技术演进

F5G 全光网也称无源光局域网 POL，采用的是 PON 技术。该组网方式采用无源光通信技术为用户提供融合的数据、语音、视频及其他智能化系统业务。无源光局域网采用的 PON 技术主要包括 GPON、XGS-PON 和 50G-PON 等。

表 2-1 PON 技术参数表

速率和波长	PON 技术参数		
	GPON 技术	XGS-PON 技术	对称 50G-PON 技术
下行线路速率 (Mbit/s)	2488	9953	49766
上行线路速率 (Mbit/s)	1244	9953	49766
下行波长范围 (nm)	1480~1500	1575~1580	1340~1344
上行波长范围 (nm)	1290~1330	1260~1280	1284~1288

除了上述 GPON、XGS-PON 和 50G-PON 技术之外，还存在 Combo 模式。Combo 模式为多种 PON 技术在同一个 OLT PON 端口下共存的模式，如 XGS-PON Combo 就是在 OLT 的一个 PON 端口下同时支持 GPON 和 XGS-PON 两种模式，在该 OLT PON 端口下可同时接入 GPON 和 XGS-PON 的 ONU，两种 ONU 可同时工作，GPON ONU 和 XGS-PON ONU 通过不同的波长进行隔离，互不干涉。50G-PON 也存在 Combo 模式，50G-PON Combo 是在 OLT 的同一个 PON 端口下同时支持 GPON、XGS-PON 和 50G-PON 三种不同的 PON 模式，三种不同的 ONU 可同时工作，并通过波长进行隔离。

F5G 全光网已经在教育院校、医院、企/事业单位、酒店、机场、商业综合体等场景有着广泛应用。

2.1.3 F5G 全光网架构及构成

职业教育 F5G 全光网主要由 OLT、ODN（含无源光分路器）、ONU 和核心交换机等设备构成，F5G 全光网的构成如下图所示：

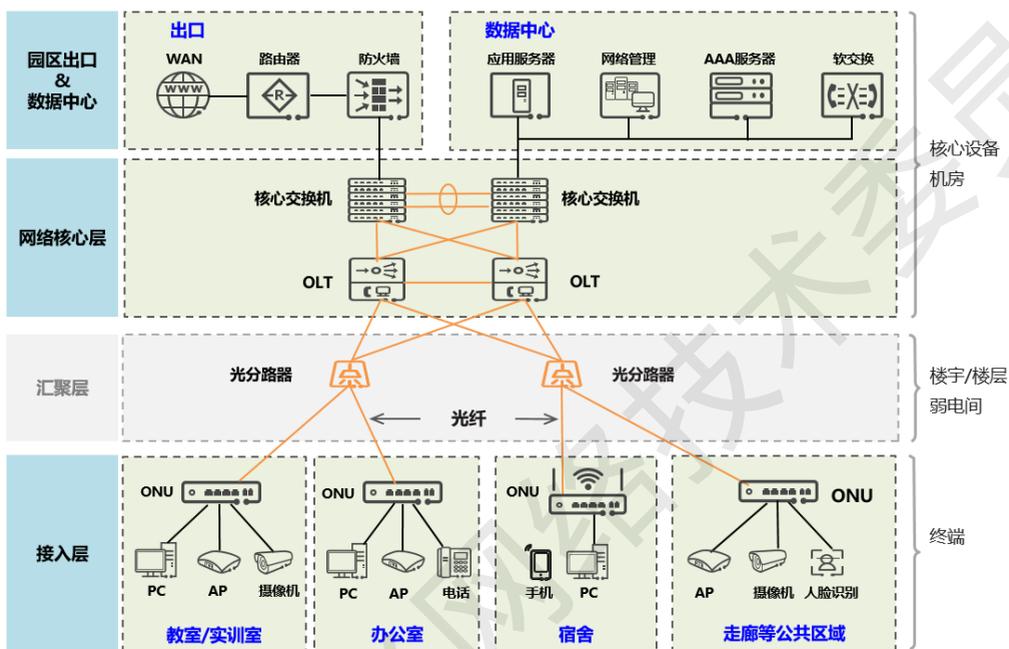


图 2-2 职业教育 F5G 全光网络构成

职业教育 F5G 全光网各部件的构成如下：

OLT：OLT 设备一般放置在核心机房，是终结从各个 ONU 上来 PON 信号的设备，通过 PON 接口和 ODN 网络连接，并对 ONU 进行集中管理。在实际应用中通常采用两台 OLT 设备进行双机热备份。

ODN：ODN 是由光纤、一个或多个光分路器（也叫分光器）等无源光器件组成的无源网络。F5G 全光网宜采用 Type B 双归属保护方式；对于标准化考场等对可靠性要求更高的场景，宜采用 Type C 双归属保护方式。

ONU：ONU 设备放置在用户侧（宜放置在靠近用户 PC、办公设备、摄像机、无线 AP、打印机、电话机等最终用户终端的位置），提供各种接口连接用户终端设备，将用户终端设备的上行信号转换成 PON 信号，通过 PON 上行接

口与 ODN 连接后传输给 OLT，OLT 和 ONU 通过中间的 ODN 连接起来进行互相通信。

核心交换机：核心交换机连接出口路由器、防火墙、接入服务器、IP-PBX、各种管理服务器和业务服务器、存储设备和 OLT 等。在实际应用中通常采用双机热备份。

F5G 全光网具有网络架构简单，光纤介质无源，带宽演进平滑，运维管理简单等优点，适合在职业教育场景使用。F5G 全光网可支撑职业教育的智慧化演进，且可通过波长/时隙隔离实现各子网的隔离，确保不同应用业务满足网络安全等级保护要求。

职业教育 F5G 全光网系统图如下所示：

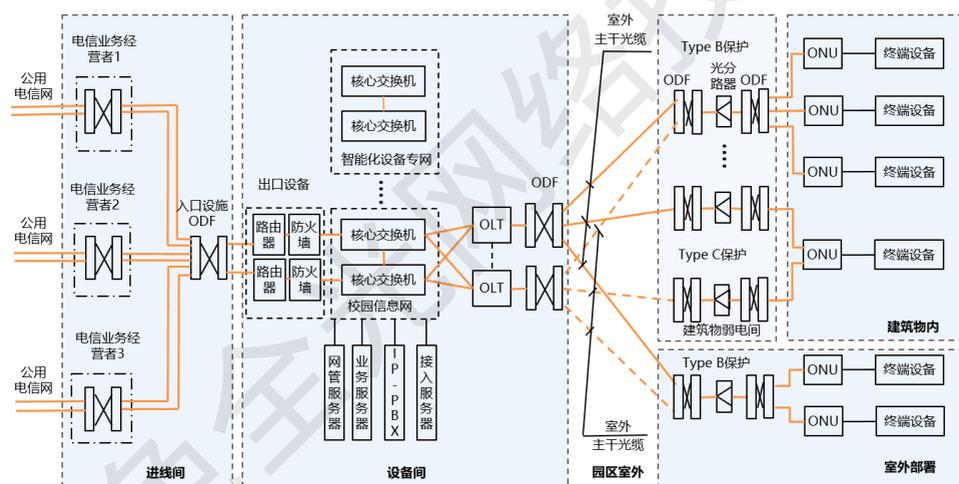


图 2-3 职业教育 F5G 全光网系统图

F5G 全光网支持多网合一，可将职业院校的校园信息网、智能化设备网（含安防网）等综合在一张光纤网络中进行承载，简化了学校的网络架构。F5G 全光网也可建设多张物理 PON 网络，每张物理 PON 网络分别承载学校的校园信息网和智能化设备网（含安防网）等。职业教育 F5G 全光网网络架构如下图所示：

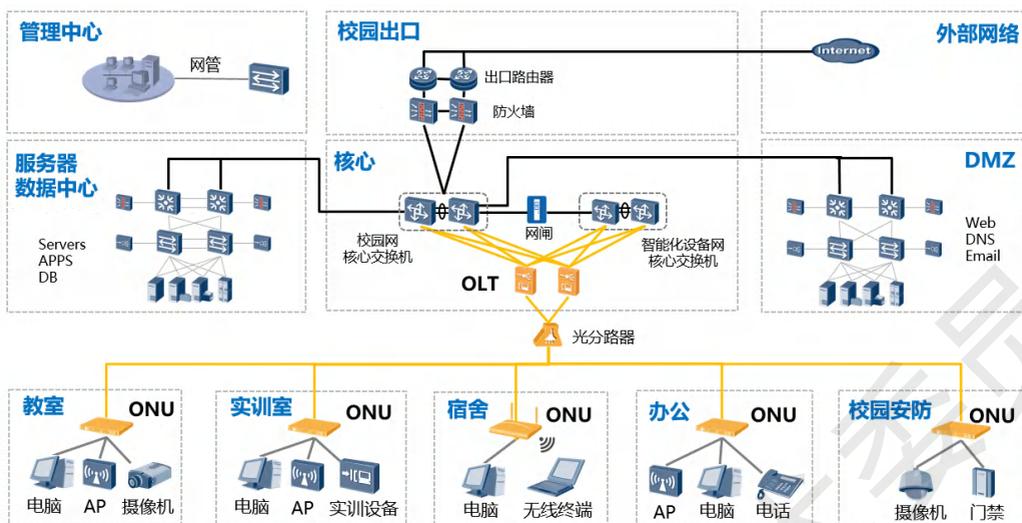


图 2-4 职业教育 F5G 全光网络架构

2.2 F5G 全光网络技术特点

面向 AI 时代，园区流量爆发式的增加，将推动“光进铜退”全面加速，万兆全光网成为 AI 时代园区的标配。F5G 全光网主要在传输介质和系统架构等方面进行了创新，更好地契合了未来 AI 的演进趋势，推进了 AI 在园区的使用。

随着 DeepSeek 等在园区本地加速部署，AI 将广泛应用到医疗、教育、车间等场景。在教育场景，AI 可实时生成 3D 视频等教学资源，并为每位学生实时提供个性化学习辅导建议，从而带来教室终端数量激增，要求网络支持高密度联接等，随着 AR/VR 的 AI 应用，对网络提出超万兆带宽等要求。

F5G 全光网具有高带宽、简架构、易演进、智运维和绿色低碳等优点，可实现 50Gbps 到房间，10Gbps 到桌面/AP，让每个园区的每个人可以随时随地使用 AI。

2.2.1 高带宽的特点

F5G 全光网可支持万兆到教室/宿舍/桌面等，也可支持 50G 到教室/实训室

等，未来将支持 200G 的超高带宽。

F5G 全光网的水平布线采用光纤替代了网线，实现了光纤下沉，最大程度发挥了光纤的高带宽特点，同时降低了后期链路升级的改造成本。

F5G 全光网推动从光纤到弱电间演进至光纤到房间/光纤到桌面/光纤到设备。F5G 全光网的 OLT 和 ONU 之间采用单模光纤进行数据传输，单模光纤具有超过 1Tbps 的带宽能力，远高于传统的 Cat5e、Cat6A、Cat7 等网线。由于光纤的带宽及演进性更好，且使用寿命长，正常使用可达 30 年以上，所以 F5G 全光网的无源光纤基础设施建成后可 30 年不落后，持续支持高带宽。

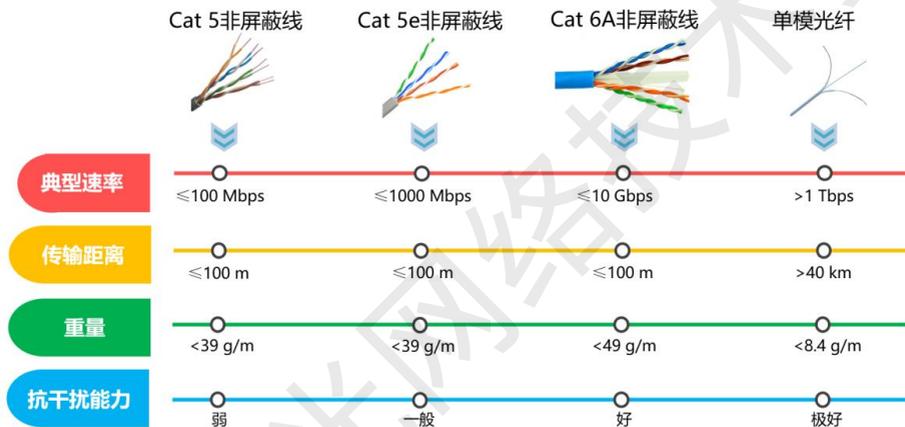


图 2-5 单模光纤的特性

在 PON 技术的标准定义中，已规定 GPON、XGS-PON 和 50G-PON 分别采用不同的波长范围，可支持不同波长的平滑叠加，故 F5G 全光网可在同一根光纤中通过灵活叠加新波长的方式提升带宽及支撑新业务，且在提升带宽及新增业务过程中不会影响已部署的业务（GPON、XGS-PON 和 50G-PON 波长都是独立的，可支持平滑叠加）。

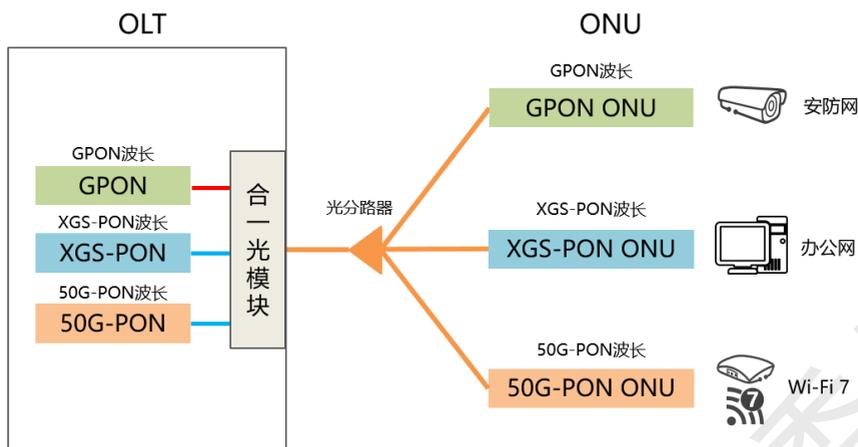


图 2-6 F5G 全光网通过波长叠加支持更高带宽

如上图所示，F5G 全光网中可首先部署 GPON（采用 GPON 波长，连接安防网等）和 XGS-PON（对称 10G GPON，采用 XGS-PON 波长，连接各院系的办公网等）；若要新增加 Wi-Fi 7/Wi-Fi 8 AP 承载等应用，需要更大的带宽时，可在 F5G 全光网中叠加 50G-PON（采用 50G-PON 波长）来提供 Wi-Fi 7/Wi-Fi 8 业务；如随着未来 360 度全景 24k 极致体验 VR 等大带宽业务兴起，还可在 F5G 全光网中叠加 200G-PON（新波长）来提供 200G 等更高的带宽，支撑业务平滑演进。

职业院校除了采用光纤支持高带宽外，在宿舍和教室等场所大量使用 Wi-Fi 6 或 Wi-Fi 7 技术提供更高的无线带宽。职业院校的宿舍主要使用支持 Wi-Fi 功能的 ONU 设备，每个宿舍部署一个支持 Wi-Fi 的 ONU，实现光纤到宿舍，在支持有线高速接入的同时，也提供 Wi-Fi 6/Wi-Fi 7 的无线高速接入。

表 2-2 Wi-Fi 6/7 支持高带宽

参数	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
标准名称	802.11ac	802.11ax	802.11be
无线频段 (Hz)	5G	2.4G, 5G, 6G(6e)	2.4G, 5G, 6G
信道带宽 (MHz)	20/40/80/160	20/40/80/160	20/40/80/160/320
调制方式	256QAM	1024QAM	4096QAM

参数	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7
最大理论速率	6.9Gbps (4×4)	9.6Gbps (8×8)	23Gbps (8×8)
传输技术	OFDM	OFDMA	OFDMA

F5G 全光网的 ONU 可提供 Wi-Fi6/7 无线接入功能，Wi-Fi 7 和 Wi-Fi 6 之间的技术差异如下所示：

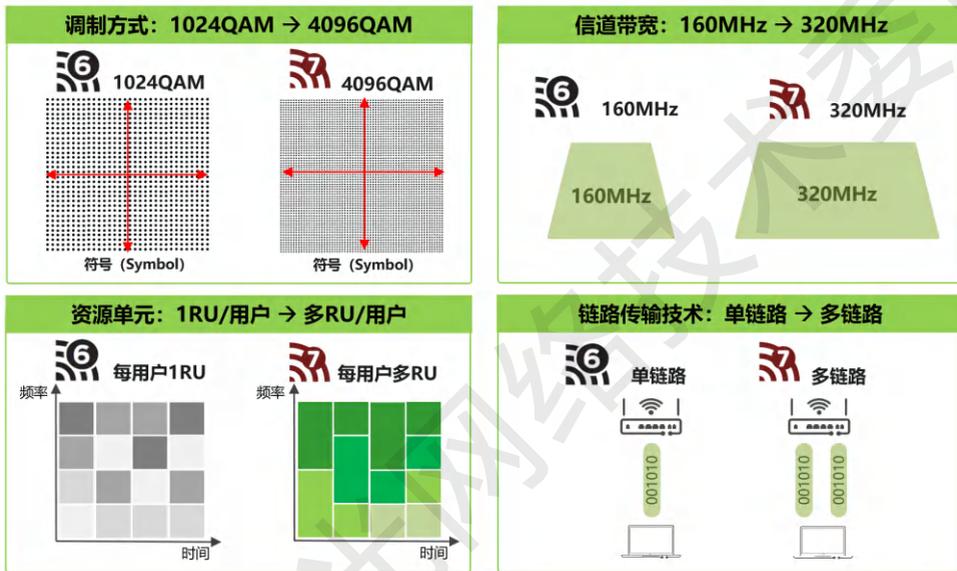


图 2-7 F5G 全光网的 Wi-Fi6/7 技术

2.2.2 简架构的特点

F5G 全光网为简化的二层架构，采用无源的光分路器替代了有源的汇聚交换机，减少了汇聚层，简化了网络结构的同时减少了故障点，实现了网络扁平化。F5G 全光网中，OLT 设备通常和核心交换机一起部署于核心机房；ONU 尽可能靠近最终的用户终端，中间采用无源的光纤和光分路器来进行连接。

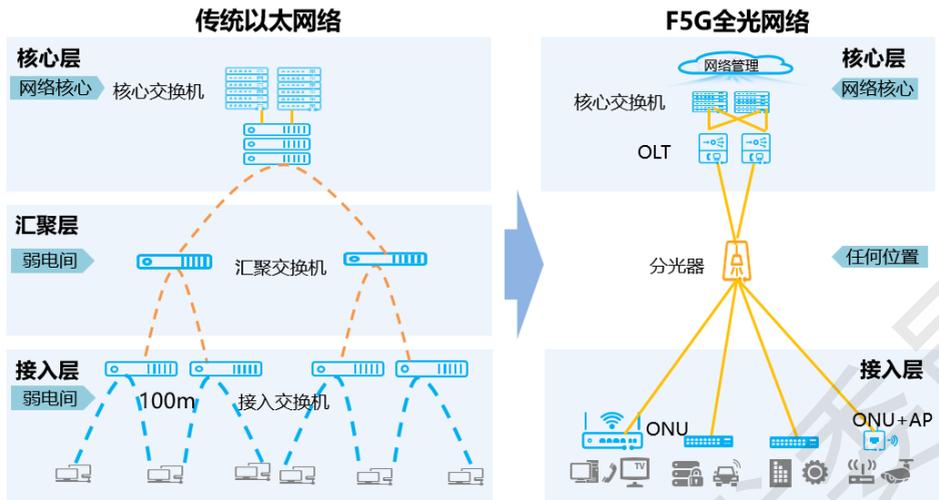


图 2-8 F5G 全光网简化网络架构

F5G 全光网减少了楼宇/楼层弱电机房的使用需求。F5G 全光网采用的光分路器无需供电，和以前的有源汇聚设备相比，无需在楼宇/楼层弱电机房中部署电源设备、空调等设备，大幅缩小楼宇/楼层弱电机房的占用空间，消除了某些学校弱电机房空间/散热能力不足导致的消防隐患。

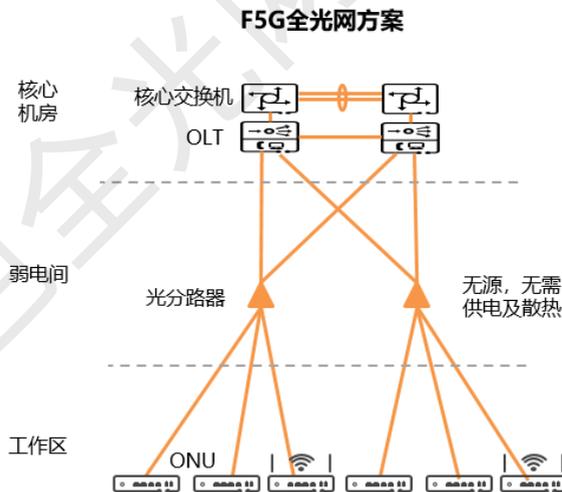


图 2-9 F5G 全光网简化网络

F5G 全光网支持将多张网络合一到一张光纤网络，如可将内网、外网或设备网等多网合一，实现了整个网络的简化运维。

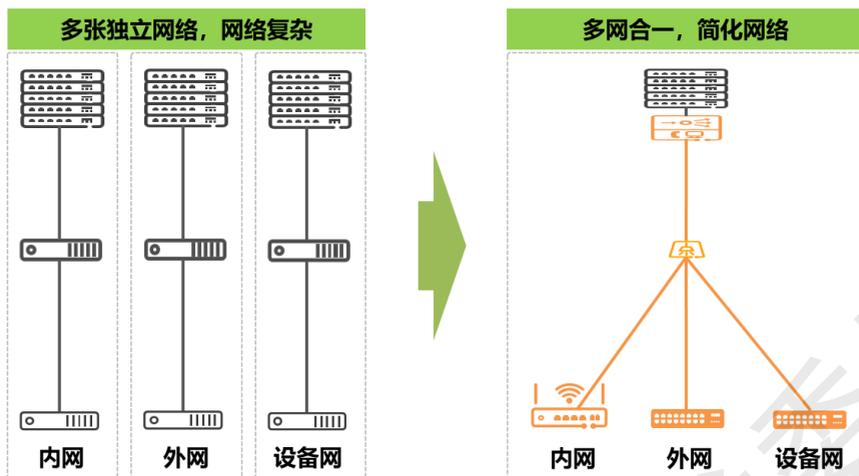


图 2-10 F5G 全光网支持多网合一

F5G 全光网支持多网合一功能，简化网络架构，F5G 全光网支持在一根光纤上承载多种业务，可兼容以前园区的各种以太网业务，且提供校园使用的 POTS 语音、CATV 等业务，实现校园网的多网融合，简化网络结构。

F5G 全光网支持多业务承载，并且可提供多种业务隔离方式，增强安全性。F5G 全光网采用的 PON 技术可实现时隙隔离（不同等级的业务采用不同的时隙）；也可实现波长隔离（不同等级的业务采用不同的波长）。此外，F5G 全光网还在光纤线路上进行了数据加密处理，通过 OLT 统一管理，不同的 ONU 采用不同的加密密钥，增强了光纤线路上的安全性。

2.2.3 易演进的特点

F5G 全光网使用的单模光纤具备抗干扰、耐腐蚀的能力，使用寿命长，正常使用可达 30 年以上。单模光纤的带宽容量大，可达 Tbit/s 级别，只需升级两端的有源设备即可支持带宽的平滑升级，故采用单模光纤的基础网络可支持向更高的带宽平滑演进，可实现光纤一次建设到位，带宽平滑升级无需更换。而传统的网线若要提升带宽不仅需要增加设备的投入还需重新敷设更高规格的网线，以前已敷设的网线需要全部抽掉更换。

F5G 全光网的无源 ODN 包括光纤和无源的光分路器等部件，无源的光分路器在传输能力上等同于光纤，也可支持带宽的平滑演进。在带宽升级的时候，由于无源的基础网不变，F5G 全光网带宽演进平滑，升级过程改动小，升级快捷。而传统以太网方案带宽升级时，需要重新更换弱电间的汇聚以太网交换机及更改相关的配置数据，工作量大，改造时间长。

F5G 全光网所使用的单模光纤体积小，重量轻，部署方便，占用桥架的空间小，更好地支持在既有建筑中平滑演进至高带宽。单模光纤的重量小于 8.4 克/米，Cat6A 非屏蔽网线的重量约为 49 克/米，是单模光纤的 5 倍以上。若需要对现有建筑进行带宽升级，需考虑将 Cat5e 非屏蔽网线升级到 Cat6A 非屏蔽网线，Cat6A 非屏蔽网线的重量和体积大于 Cat5e 非屏蔽网线，原有建筑物综合布线使用的桥架大小和承重能力不一定能满足要求，采用光纤可以很好地解决桥架大小和承重能力不足的问题。

F5G 全光网支持灵活演进，光分离器可预留一些空闲端口以备后续演进（光分路器的价格较低，且无需考虑供电等变更，端口预留成本沉淀少），另由于光纤到房间之后，若房间内信息点数量增加，可直接采用更多端口数的 ONU 替换原 ONU，从房间到弱电间之间的光纤无需变更，演进改动工作量小。

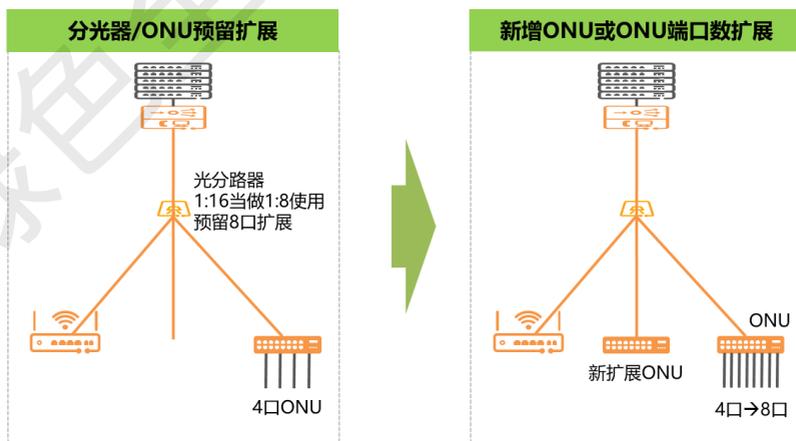


图 2-11 F5G 全光网支持灵活扩容演进

F5G 全光网也可支持在既有建筑中平滑演进，F5G 全光网方案可支持和以

以太网交换机方案在同一校区中共存。F5G 全光网可按教学网、宿舍网、智能化设备网（含安防网）等粒度分别建设，逐步演进，例如在一个校园局域网中，已存在的教学网仍采用以太网交换机的组网方式，新建设/升级的宿舍网采用 F5G 全光网来建设，F5G 全光网和已存在的以太网交换机网络共存，并可以通过核心交换机实现两个网络的互通。共存如下图所示。

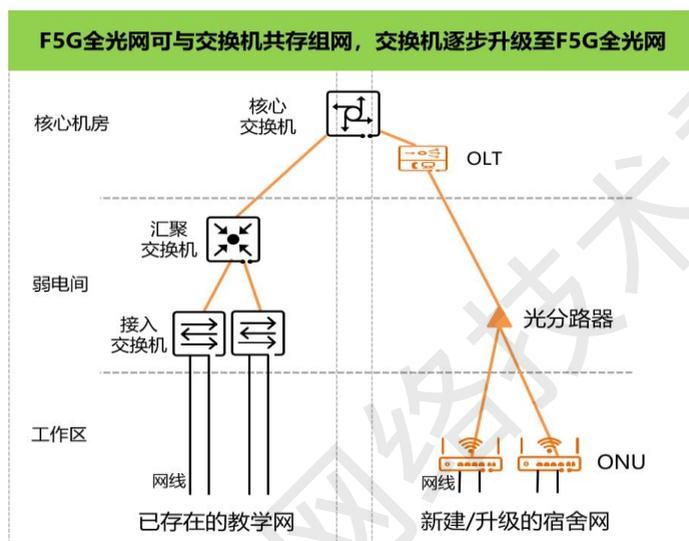


图 2-12 F5G 全光网可与交换机共存组网

此外，F5G 全光网也可支持业务的平滑演进，ONU 设备可提供多种接口，如提供 Wi-Fi 功能等，可针对面向未来的万物互联场景，可支持各种智能 IoT 终端的接入，为智慧教育建设提供强有力的网络支撑。

2.2.4 智运维的特点

F5G 全光网支持智运维，F5G 全光网采用了点对多点的 PON 技术架构，OLT 设备是整个 PON 网络的智慧大脑，通过 OMCI 协议对整个 PON 网络的 ONU 设备进行管理和配置；无需再到 ONU 设备进行本地的业务和数据配置，ONU 设备也无需配置独立的管理 IP 地址，减少了网络的独立管理节点，减少了管理配置工作量。

F5G 全光网中可将 ONU 理解为 OLT 的一个远端功能模块。在设备部署和

业务发放时，仅需在 OLT 上统一进行业务配置和业务发放，无需再到 ONU 侧进行业务配置，故 F5G 全光网方案只需配置 2 台 OLT 的 2 个独立管理节点，管理节点极大减少。F5G 全光网还支持 ONU 即插即用及免配置部署，通过网管系统，自动完成 ONU 设备的上线和业务发放，可实现业务分钟级的开通。

F5G 全光网的 OLT 和 ONU 之间采用的是无源光纤网络，无源光纤网络中的光纤或者无源分光器等器件无需管理，也可极大简化了运维。也可考虑采用 OTDR 或者 DQ ODN 等方案实现对无源光纤等的诊断和运维。

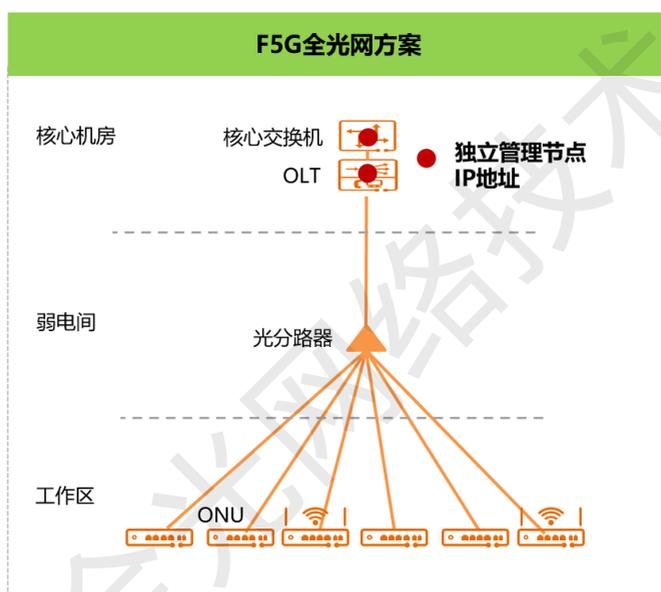


图 2-13 F5G 全光网对网络节点进行集中管理

由于 OLT 设备实现了对 ONU 设备的集中管理，所以在 OLT 设备或者网络管理设备上都可支持整个网络数据的快速收集和处理，可在网络管理设备上支持对整个网络的部署情况、告警情况、健康度等各种报表进行收集、显示和快速处理。实现整个校园网络的故障实时感知，高效管理，保障业务实时在线。

F5G 全光网支持可视化的网络设备管理系统，对 OLT 和 ONU 进行有效控制，能够实现用户认证、警告管理、性能管理、报表管理、PON 网络部署、PON 资源管理等功能。支持网络检测及光纤诊断功能，可显示光模块及光纤的状态，以及光纤故障点等信息。

2.2.5 绿色低碳的特点

点对多点的 PON 技术和以前的点对点以太网技术相比，具有高能效/绿色节能的优势。

F5G 全光校园采用的 PON 技术已在 FTTH 光纤到家庭场景中得到广泛使用，德国曾针对光纤 PON（FTTH）、铜线（VDSL）、无线（5G）等各种接入技术的功耗情况进行了比较，比较结果为采用 PON 光纤入户（FTTH）技术的功耗最低，碳排放最小，PON 光纤入户的平均每户功耗相比采用 VDSL 铜线接入有约 50%左右的降低。F5G 全光网是碳排放最低、最环保的网络。

F5G 全光网采用无源的光分路器替代有源的汇聚交换机，减少了有源汇聚层，减少了原汇聚层内的光-电-光转换功能，通过架构优化实现了节能减排。F5G 全光网实现了架构上的优化，节省了大量的电能消耗，减少了学校运营中的碳排放，帮助学校承担公共服务机构在生态文明建设中的示范引领责任。且由于 F5G 全光网减少了有源汇聚设备等转发节点，减少了拥塞冲突的风险，降低了时延，提高了传输质量，为持续高效地支撑业务应用系统的数据交互奠定了基础。

F5G 全光校园的点对多点架构更绿色节能。OLT PON 下行端口可通过无源光分路器接到多个 ONU 的上行 PON 端口（一个 OLT PON 下行端口可接 32 个甚至 64 个 ONU 的 PON 上行端口），PON 网络支持整网时钟同步，OLT 要求 ONU 在规定的时间内按需发送数据，实现整网业务数据的有效管理，以达到整个网络绿色节能的目的。例如在 1:32 分光的情况下，相比以前的点对点方案，OLT 侧的 PON 光接口减少了 31 个光口处理模块及光模块，实现了更高效的绿色节能。

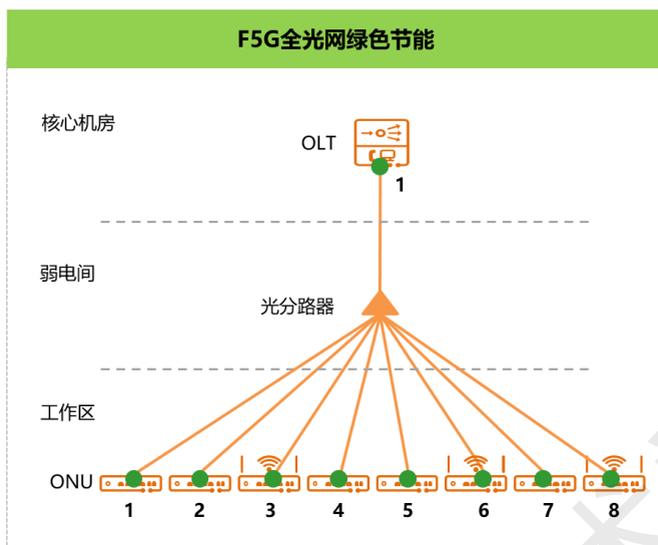


图 2-14 F5G 全光网绿色节能

F5G 全光网采用光纤作为传输介质，光纤更节能环保。光纤的主要原料为石英，而网线的主要原料为铜。相对于石英材料，铜矿开采和铜制品冶炼均需要消耗大量的自然资源和能源，产生大量碳排放，生产过程中也会对环境造成较严重的污染。采用光纤，有助于实现“碳达峰”、“碳中和”的“3060”“双碳”目标。



图 2-15 F5G 全光网采用的光纤绿色节能

F5G 全光网采用点对多点的 PON 技术，简化了末端 ONU 设备的管理，减少了管理维护节点，减少了维护工作量，实现绿色维护。F5G 全光网的 OLT 设

备是整个 PON 网络的管理中枢,通过光网络终端管理控制接口 OMCI 协议对整个 PON 网络的 ONU 设备进行管理和配置;无需在 ONU 设备进行本地业务和数据配置。F5G 全光网所有 ONU 的数据配置统一由 OLT 设备进行管理,OLT 完成 ONU 设备配置数据的保存和下发,从运维上实现了节能减排。

2.3 F5G 全光网技术线路

F5G 全光网在演进和发展过程中,也经历过多次不同的技术线路选择的讨论,包括选择 GPON 系列标准线路还是 EPON 系列标准线路,是否要选用 CWDM 技术等。经过对标准演进/技术演进等长时间的推演及讨论,最终确定了采用 GPON/XGS-PON 线路,不选择 EPON/10G EPON 线路,也不选择 CWDM 技术线路。

2.3.1 GPON 和 EPON 的选择

在 PON 发展的早期,EPON 在市场上推广上量的速度快于 GPON,业界主流的 PON 系统厂家(如华为、Nokia 上海贝尔、烽火等)也都开发了 EPON 系列产品,但在使用过程中,逐渐发现 EPON/10G EPON 线路在标准的演进性、技术上有缺陷,所以后续都转向了 GPON 系列标准,XGS-PON/GPON 技术的标准演进性更好,长期演进性远优于 10G EPON/EPON,更适合 F5G 全光校园的长期发展要求。XGS-PON/GPON 技术是当前业界主流选择的 PON 技术,当前业界约 90%以上的运营商和 PON 发货都是采用 XGS-PON/GPON 技术,10G EPON/EPON 已被边缘化,发货量逐年减少,产业链也越来越不健康,相关产品有逐渐停产的风险;此外 XGS-PON 的安全性、性能和可靠性等都更优。综上所述,F5G 全光校园应采用 XGS-PON/GPON 技术。

➤ GPON/XGS-PON 系列标准可演进性更好。

GPON/XGS-PON 系列标准是由国际电信联盟（ITU）制定的，当前主流使用的标准是 GPON 和 XG(S)-PON 标准。XGS-PON/GPON 系列标准主要的参与者包括中国和欧洲等大的运营商。GPON/XGS-PON 系列标准的下一步是演进到 50G-PON。

EPON/10G EPON 系列标准是由电气电子工程师协会（IEEE）制定的，当前使用的标准是 EPON 和 10G EPON 的标准，下一步计划往 25G EPON 标准上演进。但 25G EPON 标准的主要参与者都是北美厂家，受北美厂家的影响大。

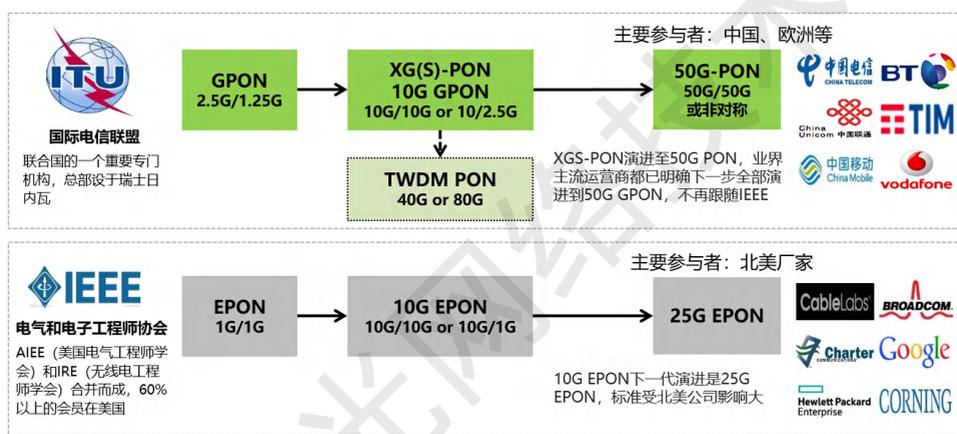


图 2-16 PON 技术标准演进图

业界主流的客户（运营商）也已明确，后续演进不会往 IEEE 的 EPON 系列标准演进，而是会沿着 GPON/XGS-PON 线路向 50G-PON 标准持续演进。从标准的可演进性上看，GPON/XGS-PON 系列标准的可演进性更好。

➤ GPON 系列产业链更健康。

GPON/XGS-PON 发货量大，各个厂家大力投入。GPON/XGS-PON 系列产品是当前市场上发货的主流产品，市场发货占比大，而使用 EPON 产品的市场持续萎缩，厂家投入意愿低，产业链不健康。全球历年 OLT 和 ONU/ONT 的发货情况如下图所示。

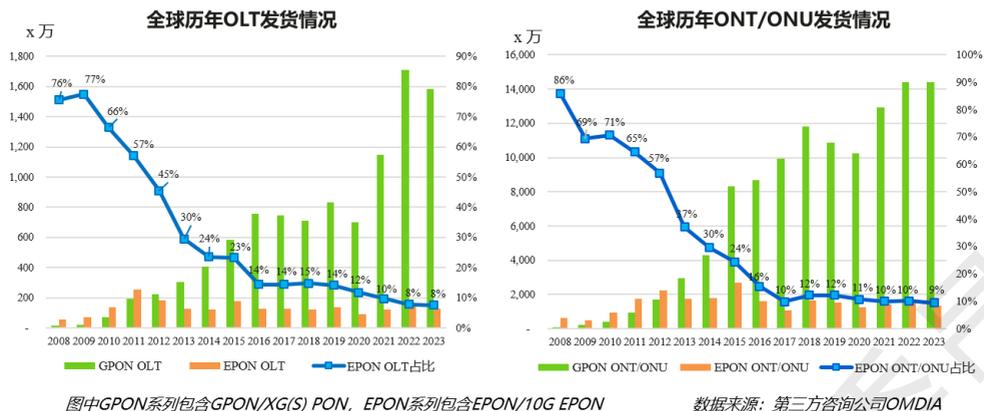


图 2-17 PON 系列产品的发货量占比

EPON 产品发货占比逐年减少，包括中国在内的大部分运营商已停止 EPON OLT 的新建，只是将存量 EPON 升级 10G EPON（部分升级为 10G EPON，部分更改为 GPON）；EPON 发货量持续下降，市场萎缩，厂家投入意愿低，产业链不健康，相关产品有逐渐停产的风险。

XGS-PON/GPON 系列产品的产业链健康，业界持续投入，厂家持续创新，在高带宽/低时延/高光功率等上面的创新层出不穷。

➤ **GPON/XGS-PON 系列技术更优，安全性更好。**

XGS-PON/GPON 技术的安全性远优于 10G EPON/EPON，更适合 F5G 全光校园的高安全要求。

EPON 的帧格式是在原以太网的帧格式上进行了扩展，当前业界有很多基于以太网帧格式（以太网报文）的分析软件，通过这些分析软件，可对 EPON 的报文进行抓取、识别和分析；而 XGS-PON/GPON 的报文采用了全新的增强的同步帧格式，当前通用的以太网帧格式分析软件无法捕获识别 XGS-PON/GPON 的帧格式，更无法识别里面的报文。XGS-PON/GPON 的安全性更高。

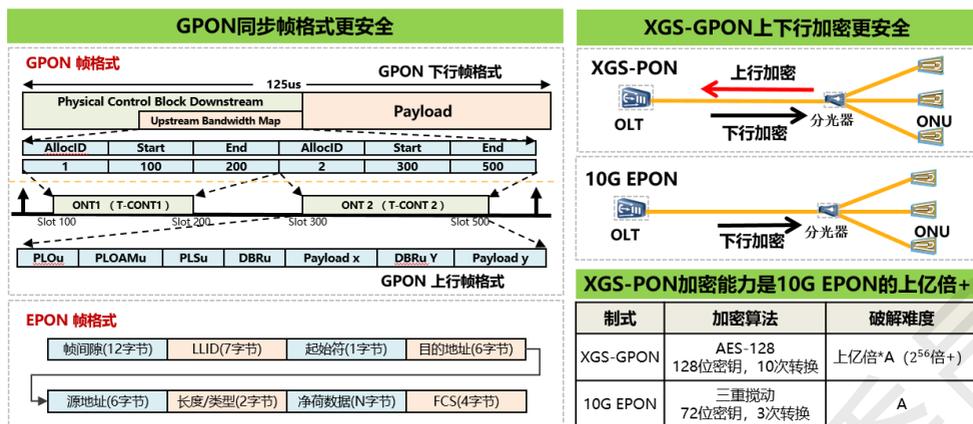


图 2-18 GPON/EPON 系列安全性比较

XGS-PON/GPON 的加密功能更全面，支持将从 OLT 发送到 ONU 的数据及从 ONU 发送到 OLT 的数据都针对每个 ONU 进行了加密（对于 OLT 而言，就是发送方向和接收方向的数据都进行了加密操作），而 10G EPON 技术的加密功能比较弱，只能支持从 OLT 发送到 ONU 方向数据的加密操作（对于 OLT 而言，只有发送方向的数据进行了加密操作，接收方向没有经过加密操作）。

XGS-PON/GPON 的加密算法更强大。XGS-PON/GPON 采用 AES128 加密算法，采用 128 位的密钥，破解难度大，远超出了 10G EPON 技术所采用的加密算法（采用 72 位的密钥）。如果采用超级计算机破解 10G EPON 的密钥破解需要 1 秒时间，那么同等计算算力的前提下，破解 XGS-PON/GPON 的密钥需要上亿年的时间。

XGS-PON/GPON 技术的可靠性远优于 10G EPON/EPON，更适合 F5G 全光校园的高可靠性要求。

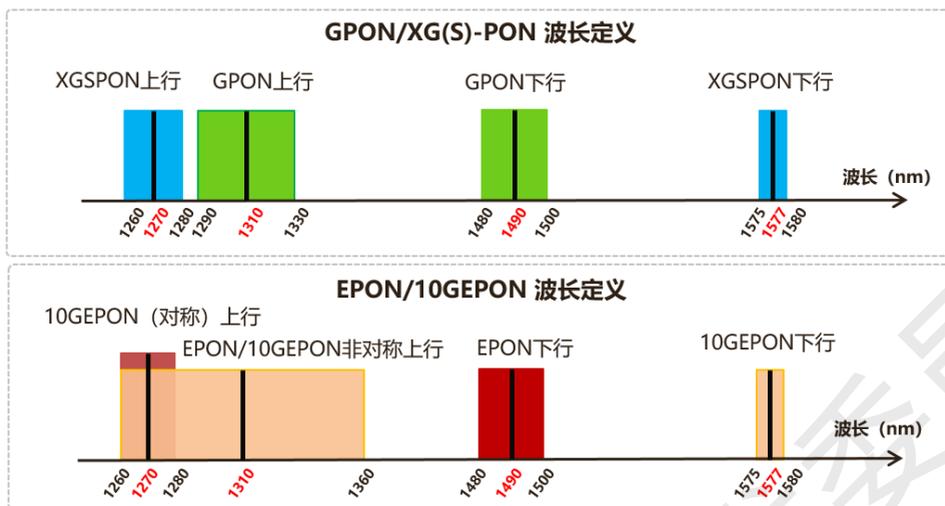


图 2-19 各种 PON 技术的波长划分

XGS-PON 和 GPON 共存时，XGS-PON 和 GPON 的上行、下行光波长都是独立的，XGS-PON 和 GPON 严格按照不同的光波长进行隔离，GPON 出现故障的时候，不会影响到 XGS-PON 的业务；而 10G EPON 和 EPON 共存时，10G EPON 和 EPON 上行的光波长没有隔离，采用的是同样的波长，如果 EPON 出现故障，将会直接影响到 10G EPON 的业务。XGS-PON 和 GPON 技术的可靠性和故障隔离能力远优于 10G EPON/EPON。

2.3.2 PON 和 CWDM 的选择

F5G 全光网的演进过程中也曾讨论过是否采用 CWDM 技术（如开发 WDM PON 等）。CWDM 技术为传输层技术，主要用于例如城市之间等长途传输的场景，城市之间的光缆是在室外部署，光缆的芯数也不多，故希望采用 CWDM 等技术通过多个波长叠加提升传输带宽，解决城市间的光缆芯数不足的问题。而对于教育园区等组网场景，光缆/光纤主要是短距的室内铺设，部署光缆的难度不大，部署的光缆芯数也不会受影响，如果采用昂贵的 CWDM 技术来节省便宜的园区内室内光缆，得不偿失。且由于 CWDM 技术需进行波长规划，需按照波长进行设计施工等，导致采用 CWDM 方案后规划难、运维难、功耗高、性价比

差，由于这些原因导致 CWDM 技术无法在园区接入网络中批量使用。CWDM 技术是在 F5G 全光园区网中被证明不可用，被抛弃了的技术线路。

➤ CWDM 无法平滑从 10Gbit/s 演进至 25Gbit/s

2004 年发布了 CWDM 标准《粗波分复用 (CWDM) 系统技术要求》(YD/T 1326-2004)，并在 2013 年进行了标准刷新，YD/T 1326 标准虽然定义了 CWDM 的 18 个波长（由于每个通道上下行各要使用 1 个波长，所以该标准最多支持 9 个通道），但只定义了 4~8 个通道相关的光接口参数，且该标准只定义了每通道 1.25Gbit/s、2.5Gbit/s 和 10Gbit/s 带宽的能力。

2022 年发布了每通道 25Gbit/s 的 CWDM 的标准《城域 N×25Gbit/s 波分复用 (WDM) 系统技术要求 第 2 部分：CWDM》(YD/T 4013.2-2022)，该标准中只定义了 3 个通道（上下行 6 个波长），其他的 CWDM 系统波长分配方案还没有定义，不能覆盖 10Gbit/s 的使用场景。

从标准演进上看，10Gbit/s 的 CWDM 系统（8 个通道，16 个波长）无法平滑演进至 25Gbit/s 的 CWDM 系统（3 个通道，6 个波长），CWDM 技术的演进性弱。

➤ CWDM 技术的产业链远比不上 PON 的产业链

CWDM 技术主要的用途是用于城市之间的等长距离连接，这类场景使用的设备数量远小于园区/家庭等接入网络使用的设备数量。据第三方的发货量统计，CWDM 光模块每年的市场发货量大约为百万级别，而且主要是前 3 个通道（6 波）或少量的 6 个通道（12 波），而 ONU 每年的发货量为上亿级别。

对于光模块及光网络设备，发货量大小对整个产业链的影响非常大，依托 ONU 每年上亿发货量级别，PON 的产业链非常成熟，不管是光电转换的器件，还是 ONU 的生产加工，还是新技术/新器件等都有众多厂家投入，整个产业链欣欣向荣。CWDM 的产业链远弱于 PON 的产业链。

➤ CWDM 规划难，维护难，功耗高

CWDM 技术本质上还是点对点的传输模式（在汇聚设备和接入设备都需采用波分合波/分波器将多个波长合一到一根光纤中传输，汇聚设备侧的端口和接入侧的端口需要 1:1 配置）。

CWDM 方案中，以下行方向为例，汇聚设备的不同端口（如第一组的端口 1~端口 8）通过不同的彩光模块发出不同波长的光（波长 1~波长 8），通过合分波器合到在一根光纤传输，在接收方向先通过合分波器分离出不同波长的光（波长 1~波长 8），这些分离出来的波长和发送的波长相同，连接至远端接入设备的接收光模块中。

CWDM 方案的技术原理示意图如下所示（需配置 16 种不同种类的光模块）。

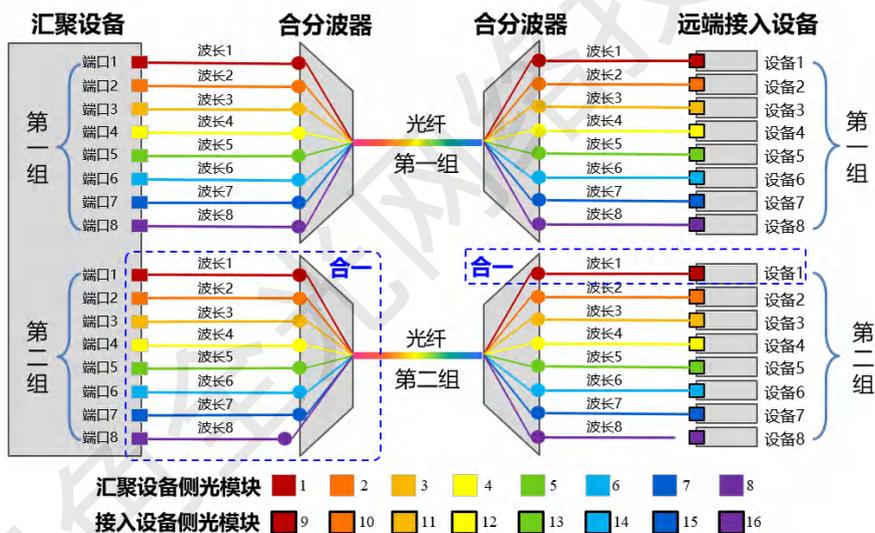


图 2-20 CWDM 方案技术原理示意图

CWDM 方案规划/维护困难，不适合在大批量广覆盖的应用场景。

CWDM 方案中，汇聚设备的不同端口需要发出不同波长的光，所以汇聚设备上的光模块（不同波长）是不一样的；且远端接入设备上光模块的收发方向和汇聚设备上光模块的收发方向相反，所以远端接入设备上的 CWDM 光模块和汇聚设备上的 CWDM 光模块也不一样。当前 CWDM 支持 8 个通道（上下行

共 16 个波长），那么汇聚设备和远端接入设备两端一共需要使用 $2 \times 8 = 16$ 种不同的 CWDM 光模块，此 16 种不同的 CWDM 光模块不能混用，否则会影响网络，导致网络无法正常使用。此外，汇聚设备上的 CWDM 光模块必须和远端接入设备的 CWDM 光模块波长一一对应，且 CWDM 光模块的波长必须和合分波器的波长一一对应，如果波长对应出错，也会导致网络无法使用。

CWDM 方案必须 8 个一组一起规划，在 8 个端口一组内，光模块的波长必须唯一，否则会导致该光纤内其他光模块有冲突。该限制影响非常大，特别对于工作区内的远端接入设备的接入（点位多，设备分散，规划变更多），导致网络很难规划（特别是在信息点变化较多的场景，要整网统一调整，影响大），很难维护（在维护时，备件多，器件更换必须一一对应，稍有不慎将会导致别的端口业务不通），在网络上实际部署非常困难。

CWDM 方案中也有些变种方案，如上图所示，有厂家将汇聚设备侧的 4 个或 8 个 CWDM 光模块和合分波器在物理上合并成一个光模块，对外呈现为一个物理的光模块；远端接入设备也把合分波器和远端光模块合并成一个光模板，对外也呈现为一个物理光模块，但还是需要准备 4 种或 8 种不同的远端接入 CWDM 光模块，该变种本质上还是点对点的方案，只是在物理上做了一个变化，工作区中远端接入设备上的 4 个或 8 个 CWDM 光模块还是很难规划和维护，在同一个组中 CWDM 光模块不能相同，如果相同将会导致 2 个 CWDM 都不可用，网络规划和维护的难度太大。

CWDM 由于采用点对点的方案，功耗远高于 PON。

CWDM 方案本质上还是点对点的方案，POL 方案本质上是点对多点的方案。点对点的方案需要大量的汇聚侧的端口及光模块，价格和功耗都会远高于点对多点的方案。

以一个 10000 个信息点的校园为例，POL 方案采用对称 10G PON 技术，采用 4 个以太网接口的 ONU 设备，10000 个信息点位共需要 2500 台 ONU；POL

采用 2:16 的分光比，2500 台 ONU 需要 $2500 \div 16 = 156.2$ 个 XGS-PON 端口；考虑备份需要双倍的配置，故 OLT 侧 PON 端口为 314 个；一台 OLT 支持 272 个 XGS-PON 端口，1 台 OLT 就支持接入 2500 台 ONU。由于网络做 Type B 双归属保护，所以采用 2 台 OLT。

CWDM 方案也采用 4 个以太网接口的远端接入设备，10000 个信息点位需要 2500 台远端接入设备；2500 台远端接入设备需要占用 $2500 \times 2 = 5000$ 个 10GE 端口。汇聚设备也需要 5000 个 10GE 端口。

POL 方案使用的 314 个 OLT PON 端口及相关的光模块远少于 CWDM 方案使用 5000 个汇聚设备端口及相关的光模块；整体的功耗也远低于 CWDM 方案，POL 方案的功耗比 CWDM 方案功耗低 40% 以上。

第三章

职业教育 F5G 全光网 应用场景和案例



3.1 职业教育 F5G 全光网应用场景

职业院校数字校园信息化内容主要包括院校信息化基础设施、教学环境建设、平安校园建设、后勤保障服务等。教学环境建设包括多媒体教室、智能教室、智能交互教室、网络互动教室、仿真实训环境；平安校园建设包括智能安防综合管理平台、视频监控系统、出入口管理系统、周界安防系统、车辆管理系统、入侵报警与主动报警系统、电子巡查系统、数字广播系统、预案管理系统、消防可视化系统、监控与应急指挥中心；后勤保障服务包括综合能源管理平台、变电所监测和管理系统、电计量管理系统、给水管网监测系统、公寓电预付费系统、路灯与照明管控系统、空调末端集控系统、建筑能耗分析系统、物业与工程管理系统等。职业院校的信息化基础设施需要能支撑上述的教学环境、平安校园、后勤保障服务等，信息化基础设施包括校园弱电系统、校园网络、物联网终端系统、数据中心机房、信息系统基础设施与网络信息服务等。

职业院校从原有烟囱式的网络及数据架构，正在向融合、高可用、极简、智能的方向发展。原来传统网络的多层网络架构带来了更大的网络时延，网络部署也随之变得非常复杂。在此趋势下职业院校迫切需要适应数据融合、架构简单、支持快速部署的网络基础设施。

职业教育的技术架构图包含了应用、平台和底座三部分的内容，各个部分中的具体内容如下图所示：

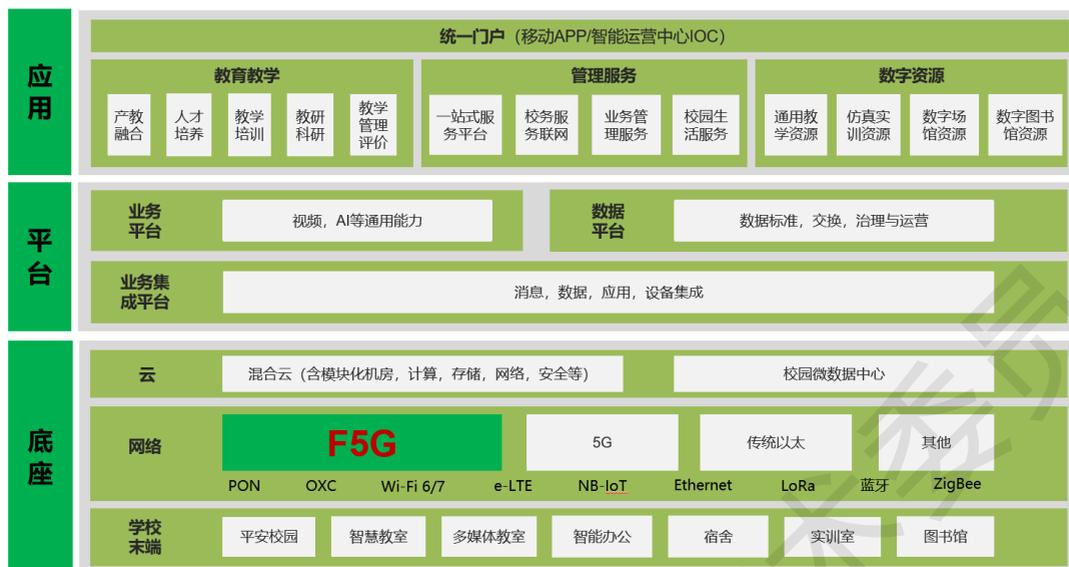


图 3-1 职业教育的技术架构图

应用：主要包含统一门户（移动 APP 或智能运营中心 IOC）、教育教学、管理服务和数字资源。教育教学主要包含产教融合、人才培养、教学培训、教研科研、教学管理评价；管理服务主要包含一站式服务平台、校务服务联网、业务管理服务、校园生活服务；数字资源主要包含通用教学资源、仿真实训资源、数字场馆资源、数字图书馆资源。

平台：平台主要包含业务平台、数据平台和业务集成平台。业务平台主要包含视频、AI 等通用能力；数据平台主要包含数据标准、交换、治理和运营等；业务集成平台主要包含消息、数据、应用、设备集成等。

底座：底座主要包含云、网络和学校终端。云部分主要包含混合云（含模块化机房，计算，存储，网络，安全等），以及校园微数据中心；网络主要包含 F5G、5G 和传统以太等，主要采用的技术包括 PON、OXC、Wi-Fi 6/7、e-LTE、NB-IoT、Ethernet、LoRa、蓝牙、ZigBee 等。学校终端主要包含平安校园、智慧教室、多媒体教室、智慧办公、宿舍、实训室和图书馆等。

网络主要的技术是 F5G 全光网，具备网络架构简单，光纤介质无源，带宽演进平滑，运维管理简单等优势，一张网承载职业院校中的办公网、外网、安防

网，实现多网合一，很好地契合了学校的需求。在支撑学校的智慧化演进与数据融合的同时，通过时隙/波长隔离技术实现各子网间的隔离，确保不同应用业务的网络安全等级保护。

3.1.1 教室场景

教室是职业教育最关键的场景，教室包括普通教室、智慧教室和多媒体教室等，智慧教室也分为常态化录播智慧教室、研讨互动型智慧教室和阶梯录播型智慧教室等。F5G 全光网以大带宽、确定性低时延、一跳入云等优势支持互动课堂、VR/AR 课堂，为学生提供沉浸式学习环境。

F5G 全光网支持光纤到教室，一网多业务。教室中主要有教学电脑、电子白板、电子班牌、无线 AP、摄像机和 IP 校园广播等终端设备，智慧教室和普通教室相比，使用了大量的智能化设备，如智能交互大屏、录播设备、智能音响、智能灯光等，桌椅的摆放也更加灵活，可根据不同的教学活动灵活调整。智慧教室借助网络平台连接海量教学资源，涵盖在线课程、多媒体素材库等，资源多样且实时更新。智慧教室注重学生的参与和互动，通过实时反馈和个性化教学，学生更主动地参与到学习过程中。

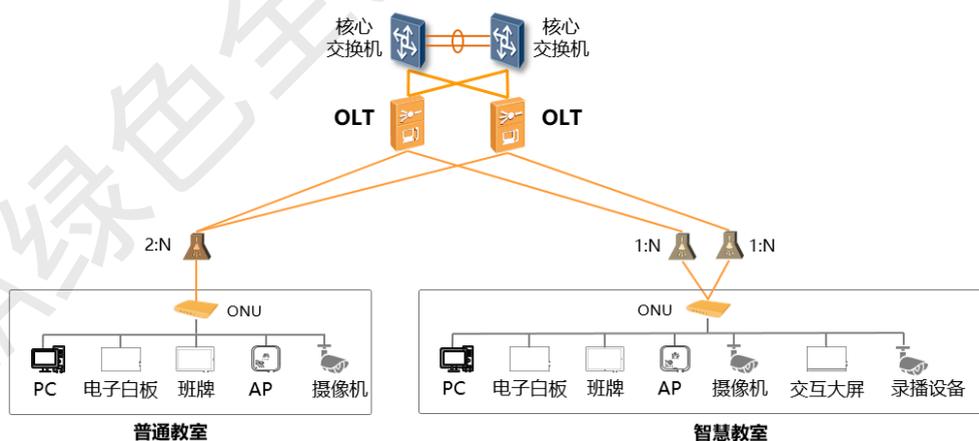


图 3-2 教室场景



图 3-3 研讨互动型智慧教室

智慧教室采用多种先进技术，如电子教材、互动白板、投影仪、智能无线网络控制等，为教学提供更加生动、形象的内容，此外，智慧教室还具备智能感知，能够收集信息数据，包括物理感知和虚拟空间感知收集师生的教学、学习情况，通过大数据统一进行分析，促进教学质量的提升。

F5G 全光网络很好契合普通教室和智慧教室的网络需求，通过一张高速/可平滑演进且灵活扩容的网络承载了普通教室和智慧教室的多种业务终端的接入和多种业务的承载。

F5G 全光网提供更高的可靠性，在教室场景下可采用 Type B/Type C 双归属保护组网以提供网络的冗余保护，为网络提供高可靠、高稳定的数据传输能力，确保网络 7×24 小时稳定运行，确保不出现教学事故，无需老师带着 U 盘上课（U 盘作为备份）。

3.1.2 实训室场景

实训室主要用于实验、实训、实习等实践性的教学工作，是职业教育中不可或缺的一部分。实训室为学生提供了一个接近真实工作环境的实践平台，使学生们能在模拟的工作/实习环境中深化对理论知识的理解，增强学习的实用性和针对性，学生们可在实训室亲身体会各种设备和工具的使用，通过实际操作熟

练掌握技能。

根据教学专业的不同，实训室配置的设备也不一样，如音乐类专业的实训室需配置钢琴等设备；护理专业的实训室需配置模拟人、护理床、心肺复苏模型等实训设备；而通信类/网络类的实训室需配置网络设备、计算机等。

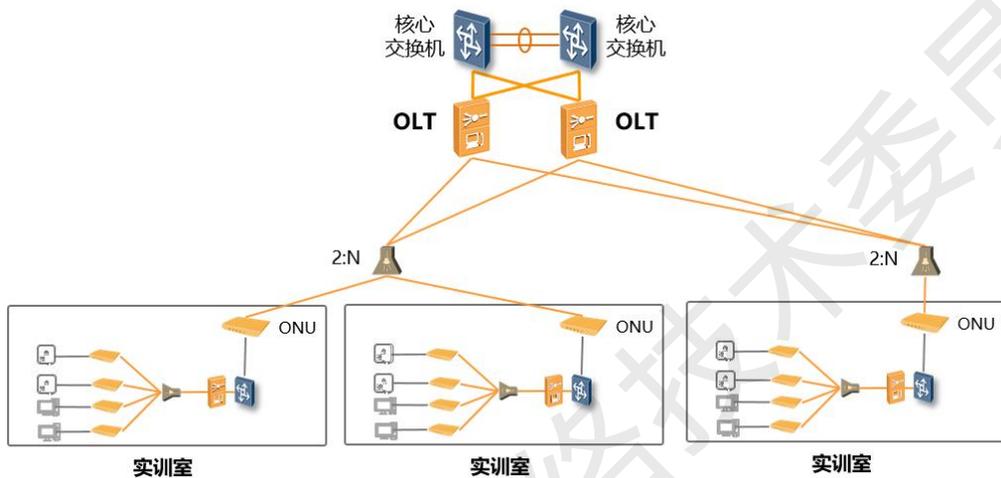


图 3-4 实训室场景



图 3-5 通信类实训室场景

以通信类实训室为例，实训室中需配置先进的通信技术类实训设备（如核心交换机、OLT 设备和 ONU 设备），也可多个实验室共用一套核心交换机设备

/OLT 设备，各个实训室通过配置 OLT 管理本实训室的 ONU 设备，打通相关的无线 AP 承载业务、普通 PC 上网业务等，单个实训室可承载小于等于 20ms 延时的无线 AP 业务及大于等于 100Mbps 的 PC 终端接入。实训室可配置设备操作电子围栏系统（如 RFID 工具定位）、实训过程录播系统等，部分前沿实训室可部署数字孪生系统，支持设备状态实时映射与故障模拟训练。

F5G 全光网可很好支撑实训室的场景，为实训室提供高速、快捷、低时延的网络支撑。F5G 全光网较传统铜缆网络，具备万兆级带宽（XGS-PON 理论下行 10Gbps）、微秒级时延、1:32 分光比带来的高性价比等优势。

3.1.3 办公场景

办公场景也是职业教育的典型场景，老师们可在办公室中备课，其他的一些行政人员也在各自的办公座位上维护着院校的正常运作。办公场景可采用 F5G 全光网络进行建设，提供高速、安全、快速的网络连接功能。

办公场景主要的终端设备为办公电脑、电话机、打印机及无线 AP 等设备，有些院校可能会划分为内网和外网等，通过 F5G 全光网，可实现在一张光纤网络中同时支持多个网络。

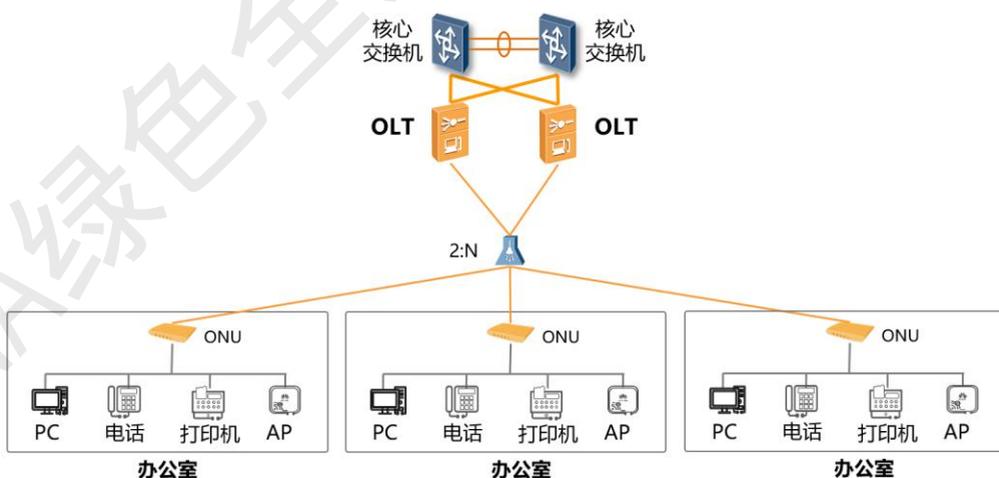


图 3-6 办公室场景



图 3-7 教师办公室场景

F5G 全光网络中，ONU 设备可提供多种业务接口，满足办公场景不同业务终端的接入要求，可根据不同的接口要求选择不同的 ONU 产品。ONU 可提供 POTS 接口接普通语音话机，提供电话功能；ONU 可提供带 POE 的 GE/10GE 以太网接口，可接无线 Wi-Fi 6/7 AP，提供 Wi-Fi 接入的功能；ONU 可提供不带 POE 的 10GE/GE 以太网接口，可接桌面云/PC、视频会议终端、IP 话机、打印机等设备，提供智慧办公的功能；ONU 也可提供 10GE/GE 以太网接口，通过物联网关连接园区 IoT 设备等。

F5G 全光网既可采用时隙隔离的方式进行业务隔离（不同等级的业务采用不同的时隙）；也可采用波长隔离的方式进行业务隔离（不同等级的业务采用不同的波长）；匹配不同业务的时延、带宽要求。F5G 全光网还在光纤线路上进行了数据加密处理，通过 OLT 统一管理，不同的 ONU 采用不同的加密密钥并定期更新，增强了光纤线路上数据传输的安全性。

3.1.4 宿舍场景

宿舍也是职业教育校园的一个重要组成部分。F5G 全光网打造有线、无线融合的超宽校园宿舍网络，提供宿舍区域学生连接 Internet 网、教育专网、学校内网、其他业务专网，并实现校园网、业务网及物联网融合承载。

F5G 全光网络中，ONU 可提供 10GE/GE 等标准以太网接口，连接到宿舍内的台式机，提供高速、安全的 Internet 上网功能；ONU 设备本身也可提供 Wi-Fi 6/7 无线接入功能，支持联接各种上网终端设备，如：上网的电脑，便携，PAD，手机等，以及宿舍区域的互联网终端等。

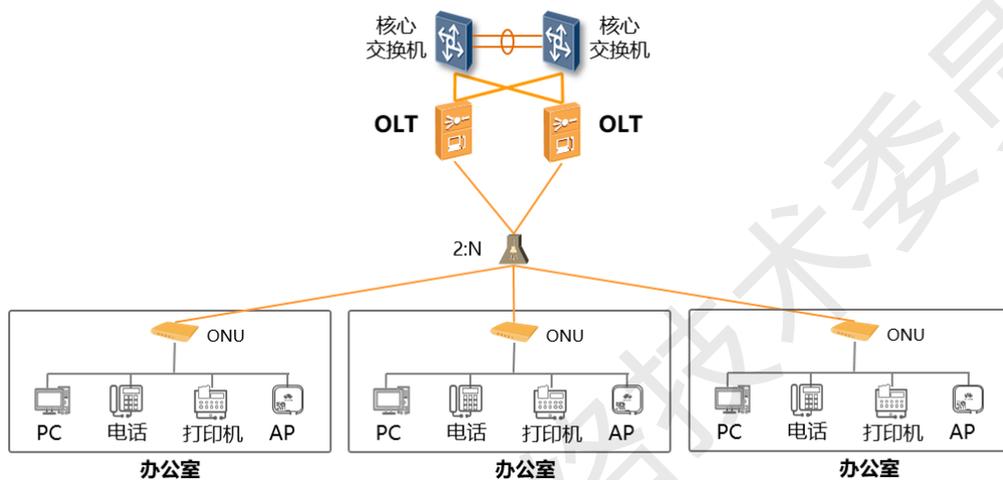


图 3-8 宿舍场景



图 3-9 4人宿舍场景

F5G 全光网中，OLT 到 ONU 之间采用无源的 ODN 网络进行连接，提供高

带宽、高可靠的全光网络。OLT 对 ONU 侧上来的信息进行转换/汇聚后送到核心交换机，核心交换机通过防火墙和出口路由器接到电信、移动和联通等运营商网络，高速访问 Internet。

可考虑为宿舍网单独建设一张 F5G 全光网络，也可考虑和校园内的其他网络合并为一张 F5G 物理网络，凭借 F5G 全光网络的时隙隔离或者波长隔离等技术，实现校园内网和 Internet 网之间的隔离，满足网络系统安全的相关要求。

3.1.5 平安校园场景

随着近年来校园治安事件时有发生，学校的安全技术防范系统对于校园的安全稳定愈发重要。尤其是对于校园内的重点区域，更需要构建实用可靠、技术成熟、经济合理的安全技术防范系统。

安全技术防范系统主要包括入侵报警系统、视频安防监控系统，出入口控制系统、电子巡查系统、停车库（场）管理系统等。目前视频安防监控系统一般采用不低于 720P 的高清图像，具有数据流量大、持续时间长的特点，对网络的承载能力提出了较高的要求。且由于安全技术防范系统需要满足对校园建筑物、操场等的视频监控，以及重点场所出入口的门禁控制以及停车场等区域的管理，需要支持长距离传输。

F5G 全光网采用光纤传输，打破了水平电缆（俗称网线）100 米的距离限制，可支持 40km 的传输距离，具有长距离广覆盖，延迟低、带宽大、质量优的特点，非常适合用于校园视频安防监控网的建设。校园视频安防监控网也可和智慧办公网等共用一张物理网络，并通过切片等实现隔离。

校园安防网中，ONU 可提供标准的以太网接口（10GE/GE 等）接入监控摄像机、门禁等各种安防设备。ONU 也可提供 PoE 的功能，为监控摄像机等设备进行供电。OLT 到 ONU 之间采用无源的 ODN 网络进行连接，提供高带宽、高可靠的全光网络。OLT 对 ONU 侧上来的信息进行转换/汇聚后，通过核心交换

机连接到视频监控服务器。

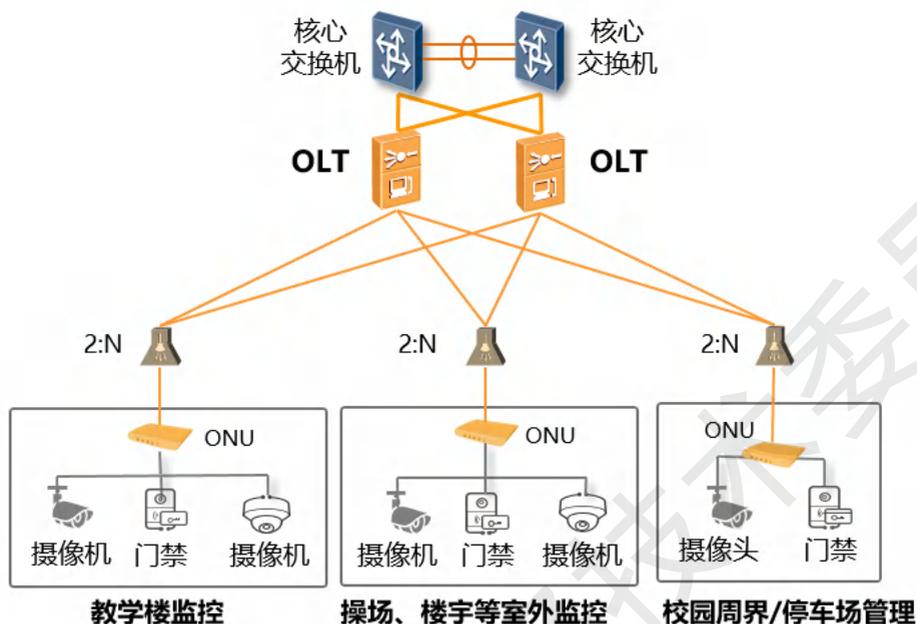


图 3-10 平安校园场景

F5G 全光网络支持增强型媒体传输质量指标（eMDI）检测、摄像头黑头检测等功能，能够对视频监控出现的花屏、黑屏等问题进行快速定位，高效承载视频安防监控系统业务，实现对校园区域的实时监控与管理。

3.2 职业教育 F5G 全光网应用现状

F5G 全光网络以其高带宽、简架构、易演进、智运维、绿色低碳等特点，深得职业院校的好评，已在很多职业院校中批量使用，使用效果良好，以下为多个职业院校的使用情况。

3.2.1 佛山职业技术学院

佛山职业技术学院于 2000 年 6 月正式挂牌成立，是经广东省人民政府批准设立、佛山市人民政府举办和主管的一所全日制公立普通高等学校。学校坐落于佛山市国家级工业园三水园区腹地，总占地面积 956 亩，建筑面积约 29.3 万平方米，政府总投资约 14.6 亿元，学校全日制在校生超万人。学校设有 8 个二级学院，建有省级校内实践教学基地 14 个，省级校外实践教学基地 17 个。学校心理素质拓展基地获评 2024 年度国家学生综合素质训练基地，学校每年培训人员超过 8 万人日，每年职业技能考证达 3960 多人次，为本地社会经济发展提供了有力支撑。学校入选金平果全国职业院校“产教融合 100 强”院校。

目前校园现有的传统的三层以太网使用多年，设备老化，带宽不足，不利于校园的长久发展，且出现网络故障时排查困难，综合网络运维成本高，学院网络架构需进行全面的升级改造。考虑到现网弱电间较小，数据中心与每栋楼之间主干光纤资源不足，且选择的改造方案需具有一定先进性，另升级改造后需方便运维。经过严谨的对比和评估，学校选择了 F5G 全光网进行改造。

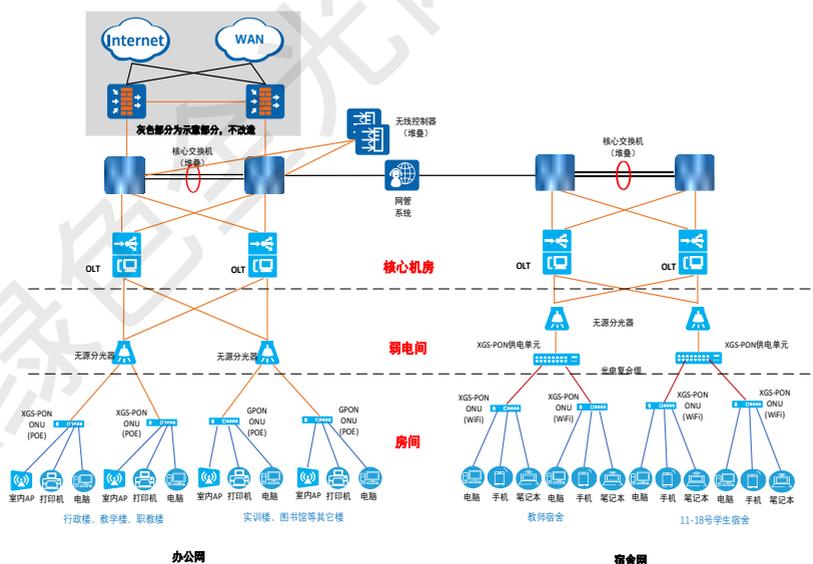


图 3-11 佛山职业技术学院组网图

采用 F5G 全光网改造后，整个校区网络为核心层+接入层两层架构，中间

是无源的分光器（宿舍区是 XGS-PON 供电单元，方便统一供电）。核心层采用双链路结构，办公网、宿舍网物理隔离，单独部署 2 套核心交换机、2 套 OLT 设备，保障网络安全。行政楼/教学楼/职教楼的办公网采用 XGS-PON 技术，无线 AP 采用 Wi-Fi 7 设备。宿舍网实现万兆入室，全部采用万兆 Wi-Fi7 ONU，提供有线+无线统一承载；并使用光电复合缆进行集中式供电。公共区和宿舍区的无线网络都采用 Wi-Fi7 无线覆盖。核心交换机/OLT/AP 等设备均为国产芯片。

项目亮点：

1. 二层、绿色节能、易维护：大二层架构，整个校区网络为核心层+接入层两层架构,中间是无源的分光器,可不需要占用楼层弱电间，无源分光器部署到壁挂信息箱即可，无消防隐患，绿色节能。
2. Wi-Fi7 无线全覆盖：公共区和宿舍区都采用 Wi-Fi7 进行无线覆盖。提升速率和降低时延，Wi-Fi7 速率相比 Wi-Fi6 提升约的 2~3 倍。
3. 万兆入室：行政楼/教学楼/职教楼采用 XGS-PON 技术，宿舍采用万兆 Wi-Fi7 ONU 设备，提供有线+无线统一承载。
4. 光纤布线，节省资源：光纤根据学校实际情况部署，办公网和宿舍网都采用 Type B 双归属保护，主干光纤芯数占用少，无需新铺设主干光纤。每房间 ONU 只需 1 根光纤（单纤双向）连接到楼层的无源分光器。
5. 宿舍区光电复合缆：本项目宿舍区域全部使用光电复合缆进行集中式供电，每间宿舍内的 Wi-Fi 7 ONU 设备无需在本地取电，可做到断电不断网，消除宿舍安全隐患，方便学校进行管理。
6. 国产化：OLT 主控板和 PON 单板主要业务处理芯片均为国产芯片，满足未来网络核心设备国产化改造要求。
7. 易扩容、易升级：一次布光纤，可以使用 30 年。未来只需更换终端设备和 OLT 板卡即可完成带宽升级，中间的布线无需变动。同时，接入点信息点扩容非常方便灵活，不需要重新拉线。

3.2.2 重庆航天职业技术学院

重庆航天职业技术学院是中国航天科技集团公司主办，重庆市教委主管的公办全日制普通高等职业院校。其前身是西南航天职工大学，始建于 1983 年 4 月；1999 年 7 月经教育部批准，转制为重庆电子职业技术学院，是重庆市第一所独立设置的高等职业技术学院；2008 年 3 月更名为重庆航天职业技术学院。

学院现有江北、渝北、江津、两江等 4 个校区，共占地近千亩，在校学生 1.5 万余人，下设 8 个二级学院，开设有 38 个专业。学院打造了一支专兼结合的“双师型”教师队伍，现有教授、副教授、高级工程师 124 人，博士、硕士研究生 139 人。学院有 16 个校内实训基地（含 5 个国家级基地）和 200 余个校外实训基地，累计为航天企业和重庆企事业单位培训干部/职工 20 万余人次。

重庆航天职业技术学院两江新校区作为重庆市职业教育数字化转型的标杆项目，以“高带宽、低时延、广覆盖、智能化”为核心特征，深度融合教育教学、科研创新与管理服务场景。

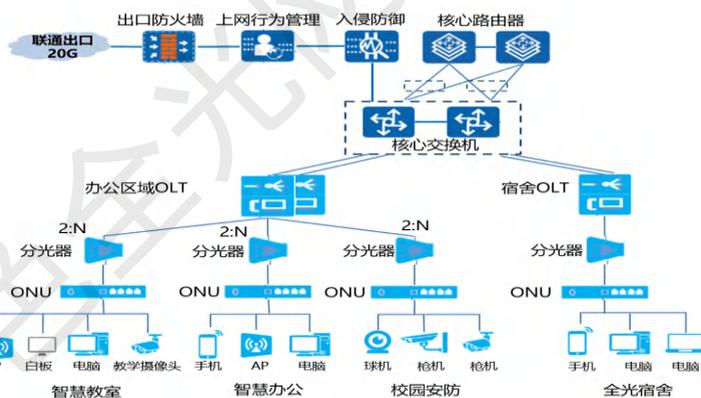


图 3-12 重庆航天职业技术学院组网图

项目基于华为 OptiXstar 全光园区解决方案，实现教学区、实验楼、科研中心、宿舍区等场景 100% 光纤到房间覆盖，骨干链路带宽达 40Gbps，并支持平滑升级至 50G PON 技术，为未来十年教育信息化发展预留充足空间。通过“全光网络（F5G）+Wi-Fi 6+物联网”三网融合架构，校区构建了一张可同时承载

4K/8K 超高清教学、高精度科研数据传输、千台物联网设备接入的智能网络。

赋能教学场景：重塑课堂形态，打造沉浸式学习体验。全光网络为校区教学场景的智能化升级提供了坚实底座。在部分智慧教室中，每间教室部署 4 台 8K 全景摄像机、1 台 AI 教学分析终端及 20 台 VR/AR 实训头盔，通过光纤直连至校级计算中心。教师开展航天器结构拆解、卫星轨道模拟等实训课程时，全光网络可保障 8K 超高清视频流实时传输，端到端时延稳定低于 1ms，画面卡顿率趋近于零。在《飞机发动机维修》课程中，学生通过 VR 设备进入虚拟卫星舱，同步操作舱内上千个电子元件，设备响应时间从传统网络的 50ms 缩短至 2ms，操作精准度提升 90%，极大降低了实训安全风险。在公共教学空间，Wi-Fi 6 与光网络协同实现 5000+终端并发接入，学生在礼堂、图书馆、操场等场景可无缝切换 8K 教学资源点播、云端编程实验等应用，日均在线学习时长增加 1.8 小时。

技术架构创新：极简设计驱动高效运维。项目采用 POL（无源光局域网），通过分光器将传统三层网络简化为两级结构，弱电机房数量减少 70%，布线成本降低 40%。每间实验室部署的华为 ONU 设备集成 10G PON、Wi-Fi 6 及物联网网关功能，单设备可同时承载 8K 视频教学、实验设备数据采集、环境监控等业务。在航天材料分析实验室，光纤网络直接连接扫描电镜、质谱仪等 18 台精密仪器，原始数据通过 10G 通道直传超算中心，避免了传统铜缆传输中的信号衰减问题，数据分析效率提升 3 倍。

智能运维是网络高效运行的核心保障。基于 NCE 网络自动化引擎可实时监测光模块的工作状态，并通过 AI 算法预测光纤链路故障，提前预警准确率达 92%，应急响应时间从 4 小时缩短至 15 分钟，年运维成本降低 120 万元。

两江校区全光网络投用一年来，教学与科研效能显著提升：虚拟仿真实训课程开设比例从 35% 增至 78%，学生国家级技能大赛获奖数量同比增长 20%；科研项目获批省部级课题 22 项，校企联合发明专利数量翻番；年能耗降低 18%，相当于减少碳排放 220 吨。

3.2.3 安徽交通职业技术学院

安徽交通职业技术学院始建于 1956 年，前身是安徽交通学校。1958 年学校升格为本科层次的安徽交通学院，1988 年更名为安徽大学交通分校。2001 年学校与安徽交通学校合并，成立了现今的安徽交通职业技术学院，成为安徽省唯一专注于交通领域的高职院校。学院始终秉持“经世致用、实学报国”的教育理念，通过校企合作和产学互动，培养了 11 万余名交通运输行业的高素质技术技能人才。学院拥有“教育部汽车类技能型人才培养基地”等多个高水平培训平台，被誉为“安徽交通黄埔”。作为安徽省的示范性院校，学院于 2014 年成为国家骨干高职院校，2019 年开始建设安徽省技能型高水平大学。学院多次荣获教育和职业训练领域的重要奖项，体现了其在教育领域的卓越表现和影响力。

学院占地面积 1200 余亩，现有在校生 12000 余人，教职工 580 余人。学院致力于培养复合型交通人才，已形成涵盖公路、海运、航空、轨道交通、汽车、邮政等领域的现代综合交通专业集群，拥有众多国家级和省级重点专业。学院不仅关注专业教育的深化，还强调产教融合和国际合作。与 50 余家行业龙头企业共建产教平台，实现资源共享、优势互补；与多国高校和研究机构建立了长期合作关系，积极支持国际教育交流与合作。

安徽交通职业技术学院新桥校区规划用地约 886.88 亩，总建筑面积约 52.04 万平方米。智慧校园建设项目采用了华为 F5G 全光校园网络方案，涵盖了教学楼、图书馆、综合楼、专业教学实训用房及场所、室内体育用房、实验实训楼、学生活动中心、学生宿舍、食堂、周转房、地下人防和停车场、后勤及附属用房等多项工程。

基础设施建设是智慧校园建设的先决条件和基础保障，是智慧校园建设的首要任务和重中之重。本次新校区建设基于 F5G 光网络技术，构建了一张多业务融合的高性能网络，承载有线、无线、物联网等多种网络服务。采用 F5G 方案可有效减少网络建设和运维成本，满足各类终端及物联网传感设备的接入需

求，满足未来教学发展对网络性能、容量等方面的高标准要求。

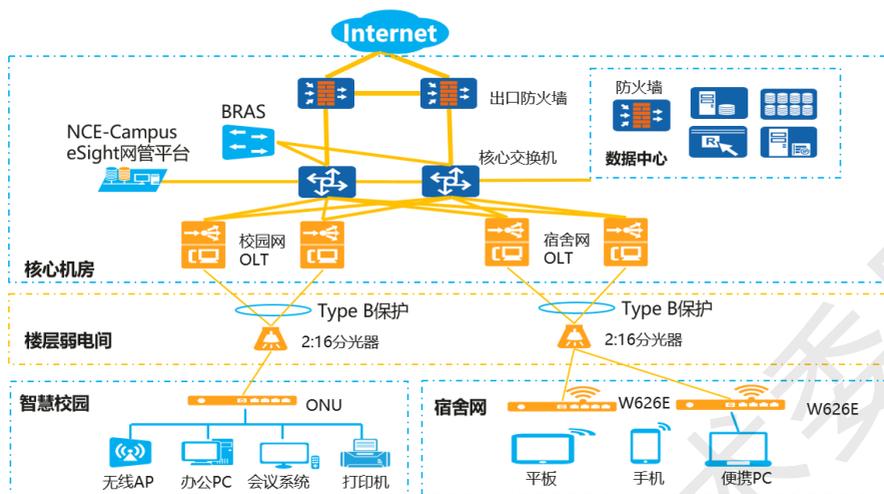


图 3-13 安徽交通职业技术学院组网图

项目亮点：

安徽交通职业技术学院新桥校区通过将 F5G 全光技术应用于校园网络，实现了各场景下一根光纤统一承载全业务类型，打造了光纤到房间的全光承载模式。多网合一的设计使得网络运维更加统一、高效，运维效率提升了 60%，真正实现了“一人一园区”的管理目标。

学生宿舍内部署的光 AP，支持有线、无线、语音的统一接入，实现了一房一纤，一机三用的效果。不仅大大提升了学生上网的体验感，同时完美体现了全光网络极简架构的优点，降低了网络复杂度，提高了可靠性。

“光进铜退”的网络建设理念，大大减少了综合布线和施工周期。通过无源 ODN 汇聚实现更高的可靠性，并极大地提升了远程视频教学、VR 教学的效率。更多的在线学习资源让学生的学习过程更加流畅、高效。对于教师而言，可以更快速地获取所需的教育资源，提升教学效率和教学质量。

F5G 全光网络架构将传统的三层网络简化为二层，弱电间采用无源分光器，免维护，不仅节省了能耗，而且绿色无源，助力国家“双碳”战略的实现。设计符合可持续发展的理念，为学院的绿色校园建设增添了亮点。

3.2.4 浙江金融职业学院

浙江金融职业学院前身是建立于 1975 年的浙江财政银行学校。2002 年经浙江省人民政府批准并经教育部备案正式建立浙江金融职业学院。2019 年被教育部认定为“国家优质校”，被教育部、财政部列为中国特色高水平高职学校和专业建设计划建设单位并于 2024 年以优异成绩通过验收。在金平果 2025 版中国高职院校综合竞争力排行榜中，学校位居全国高职院校综合竞争力排行榜第 10 位，全国财经类高职院校第 1 位。

学校现有杭州、绍兴 2 个校区。现有在编教职工中正高职称、博士学历等高层次人才 130 余人。学校设有 11 个二级学院，开设 30 个专业。学校建有 7 个校内国家级实验实训基地，23 个省级校内实验实训基地，200 多个校外实习基地和 100 余个校外紧密型产学合作基地。办学 50 年来，学校累计培养了 6 万余名经济金融优秀人才，其中，各级各类行长超过 5000 人，被誉为“行长摇篮”“金融黄埔”。

浙江金融职业学院绍兴校区选址于绍兴滨海新区，定位为高水平国际化应用型高职院校。绍兴校区规划学生规模 8000 人，每年培训各类专业人才不少于 5000 人次。以全日制高职学生培养为办学重点，兼顾公共实训、社会培训和其他社会服务。学院绍兴校区的信息化建设，希望能构建一张高宽带、高可靠、高灵活、易运维的全光校园网。

绍兴校区采用华为 F5G 全光网 XGS-PON Combo 及硬管道技术，实现 10G+2.5G 宽带覆盖全校，大幅简化网络层级，提高网络可靠性和拓展能力。为了提升校区的全光网络 POL 系统的监测和运维管理能力，学校采用了华为一体化融合运维管理平台 eSight，统一对 OLT、ONU 设备进行集中管理。

学校采用校园网、宿舍网分别独立建网方式。校园网教学楼、行政楼、图书馆等楼栋通过 Type B 双归属技术，极大提升校园网的可靠性。在校园网的教室、实训室、会议室等场景，采用高密 Wi-Fi AP+多速率 ONU 方式，实现 10GE/2.5GE

POE 到 AP，支持高密 AP 的高性能。在室外区域，通过光模块式 SFP ONU 10G 光纤到室外 AP，满足室外 AP 万兆带宽接入的诉求。

宿舍网中 Wi-Fi ONU（光 AP）部署到每个房间，光纤直达多功能型光 AP，通过 Wi-Fi 调优技术，实现 ONU 内置 Wi-Fi 统一管理，统一调优，并实现与校园网 AP 无缝漫游。

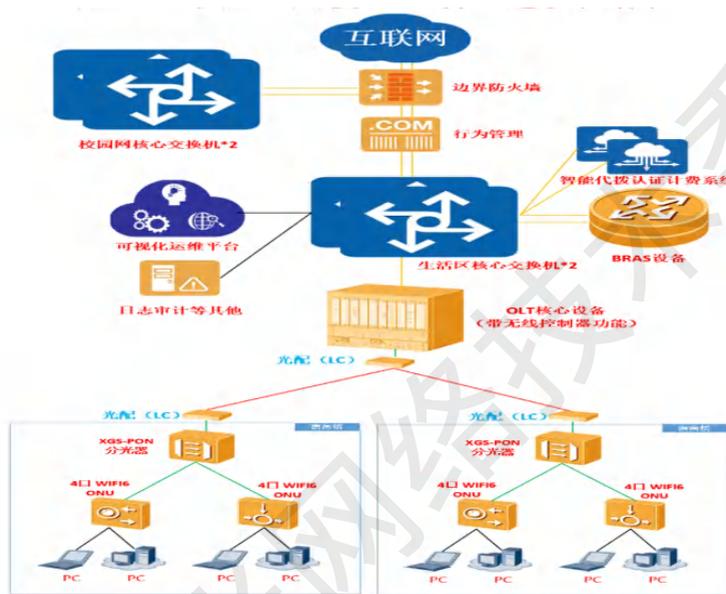


图 3-14 浙江金融职业学院绍兴校区组网图

项目亮点：

1、XGS-PON 接入，上下行对称 10G 到房间。做到大带宽、低时延、高并发的极致网络体验；

2、采用华为硬管道技术，一网统载多业务，同时做到物理隔离效果，节省设备成本；

3、OLT 内置软 AC 功能，对 Wi-Fi 型 ONU 统一管理，统一调优，实现无线无感漫游。

4、采用 TypeB 双归属技术，极大提升校园网的可靠性；

5、采用华为一体化融合运维网管平台 esight，全网设备统一管理，减少运维成本；

3.2.5 青岛职业技术学院

青岛职业技术学院成立于 2000 年，是一所省属市管的全日制公办高等职业院校，具备全日制高等职业教育和职业技能培训等多项教学资格。学校现有在职教职工 800 余人，全日制高职在校生达 16000 余人。

学校历史可追溯至 1951 年，经过多次更名和合并，2002 年与青岛教育学院合并，形成了今日的规模和框架。学校通过四方联动和四维驱动的教育模式，致力于全面落实立德树人的教育任务，助推学生成长成才。在教职工队伍中，80%为专任教师，90%持有硕士及以上学位，36%具有高级职称，半数教师具有海外学习经验。学院设有多个校区和众多二级学院，如海尔学院、信息学院、生物与化工学院等，开设了电气自动化技术、机电一体化技术、信息安全技术应用等重点专业。学校与 38 个国家和地区的 116 所院校建立了友好合作关系，积极推动国际交流与合作。

学校实训设施齐全，拥有多个国家级和省级实训基地，与海尔集团、华为公司等知名企业建立了实习就业基地，深化校企合作，增强学生实践能力。学校还致力于创新教育模式，实施现代产业学院和各类产教融合共同体，推进职业教育高质量发展。通过“三化战略”（融合化、智慧化、国际化），学校正努力实现高质量的教育发展，培养更多高素质的职业技术人才。

三期产教融合实训基地光网项目于 2023 年 7 月开工，9 月建设完成。项目建设范围包括学校三期新建的两栋实训楼和六栋宿舍楼，主要使用场景涵盖智慧教室、电子班牌、智慧控电、一卡通、无线覆盖、有线接入等，为校园的信息化和智能化应用提供了强有力的网络支持。

项目核心层采用 100G 接口互联，接入层采用 GPON/XGS-PON Combo PON 技术。其中，无线网络采用 XGS-PON POE ONU 接入，有线网络采用 GPON ONU 接入。整个网络从机房到前端接入全部采用光纤部署，有效减少了有源设备和线缆数量，降低了空间、能源和铜缆的消耗。同时，光纤网络可提供平滑的

带宽升级，无需部署新的基础网络即可满足未来高带宽、低延时的需求。

每间宿舍根据人数设置数据面板和无线 AP 接入点，通过宿舍走廊 ONU 箱内的 ONU 提供接入。实训楼的教室和办公室根据需求设置数据面板和无线 AP 接入点。宿舍及实训楼的 ONU 箱内敷设 4 芯光缆，为 ONU 提供接入。项目自 2023 年 9 月交付使用以来，网络运行稳定，为师生提供了高效便捷的网络服务。

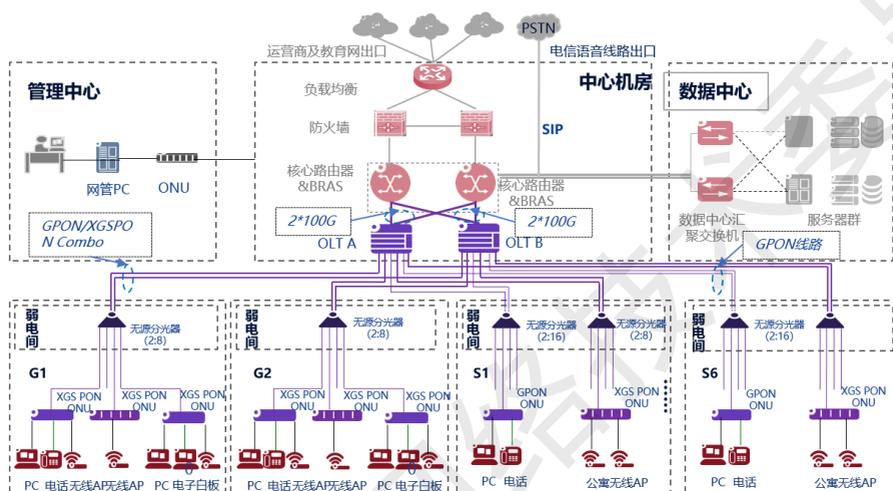


图 3-15 青岛职业技术学院组网图

项目亮点：

设备接入灵活，满足不同业务需求：采用 GPON/XGS-PON Combo 接入方案，灵活配置 GPON ONU 或 XGS-PON ONU，满足各类业务的接入需求，为未来业务拓展和升级留有空间。

线缆数量减少，节约布线空间：光缆从机房直接铺设到前端弱电箱，网线仅在最后几米内使用，减少了线缆使用量和布线空间，降低了施工难度和成本。

弱电间空间占用少：由于采用光纤到电井的设计，弱电间内设备占用空间大幅减少。电井内仅需安装分光器、光纤配线架和预留的 ONU，总共占用机柜不到 20U 的空间。

运维成本降低：网络架构简洁，避免了复杂的网络级联拓扑结构，减少了故障节点。运维人员可更直观地定位和解决问题，提升工作效率，降低运维成本。

3.2.6 河源职业技术学院

河源职业技术学院是一所由河源市人民政府举办的全日制普通高等学校，学校 2001 年由 1930 年创办的广东老隆师范学校升格成立，2004 年整体搬迁至河源市区办学，2022 年 8 月学校获得广东省教育厅立项，成为全省 30 所省域高水平高等职业院校建设单位之一。学校位于广东省河源市江东新区，占地面积 55.90 万平方米，总建筑面积 33.5 万平方米（含非学校产权，学校独立使用部分）。

学校现有全日制在校生 14858 人。教职工 685 人（含在编在岗及聘用人员），其中专任教师 613 人（含外籍教师），其中副高以上职称 165 人，博士、硕士共 408 人，双师素质教师 276 人。学校下设 7 个教学院部，设有 49 个专业，建有 6 个省级高水平专业群，建有 48 个校内实习基地，校外实习基地 428 个；现有教学科研实习仪器设备资产值 1.74 亿元。图书馆纸质藏书 115.1084 万册。

河源职业技术学院原有网络设备陈旧、稳定性差、安全隐患突出，学校准备实施网络改造，具体问题和改造需求为：一、要解决业务需求激增与网络承载能力不足的问题，原有千兆骨干带宽无法满足 8K 录播教室、VR 实训室等场景的并发需求，高峰期网络丢包率达 15%；二、要解决多系统孤岛与运维复杂度的问题，校园网、监控网、物联网等 7 套系统独立运行，每年的运维成本越来越高；三、要解决安全合规要求与老旧设备隐患的问题，核心机房设备已过维保期，存在等保合规风险。改造过程中面临三大挑战：一是如何在楼宇密集区实现万兆入室覆盖；二是如何在不中断业务的情况下完成网络平滑迁移；三是如何通过架构创新实现 90% 弱电间“去有源化”，解决全校众多弱电间高温用电安全隐患问题。在时间进度上，要求学校 3249 个宿舍在暑期 45 天内完成全光改造，对工程管理和技术方案提出极高要求。

河源职业技术学院改造项目采用华为 F5G 全光解决方案，设计了“1+2+4+N”架构：1 个智能管控平台、两台交换核心、四台 OLT 光汇聚核心、N 个光终端

组成无源全光校园网络。

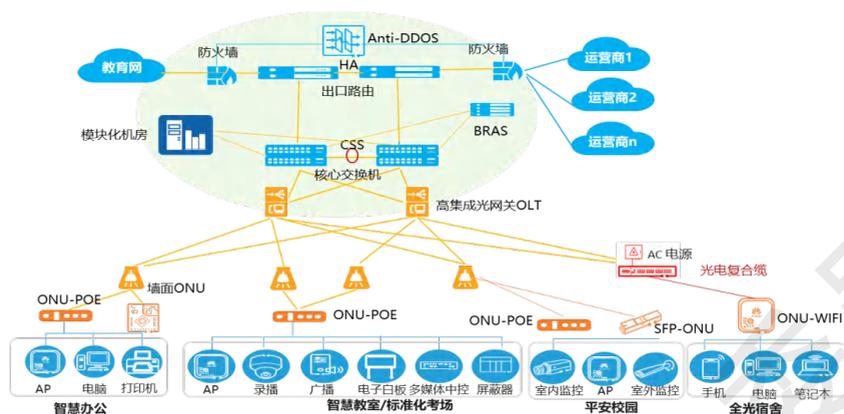


图 3-16 河源职业技术学院组网图

项目亮点：

1.极简架构，多网融合。创新性采用“一纤多业务”架构，通过一张全光网络承载校园网、视频监控、物联网、语音等多业务系统，实现弱电桥架减少 90%，布线成本降低 60%，机房空间节省 70%。能支撑未来 5~8 年业务扩展需求，满足智慧教室、远程教学等新兴应用场景。

2.超宽接入，性能卓越。采用业界领先的 XGS-PON 技术，桌面带宽提升至 1G，支持 1.5 万+用户同时在线，满足 VR/AR 教学、远程实训等低时延要求。

3.稳定可靠，智能运维。核心层采用双机热备+智能堆叠技术，达到 99.99% 高可用性。上线智能运维系统，实现故障自动检测、定位和恢复。光纤直连到房间，故障点减少 80%，网络稳定性得到大幅提升。

4.绿色节能，安全可信。采用无源分光技术替代传统有源设备，整体能耗降低 40%，楼宇弱电间无强电设备，彻底消除火灾隐患。校园网已通过等保 2.0 二级认证，实现了端到端的安全防护。

项目于 2023 年 10 月正式交付使用，覆盖全校 41 栋楼宇、423 间教室、3249 间宿舍和 455 个办公场所，为 15000 多名师生提供高速网络接入服务。运营数据显示，网络可用性达到 99.99%，整体能耗降低 40%，用户满意度达 99% 以上。

3.2.7 宁波城市职业技术学院

1992年邵逸夫先生捐资兴建原宁波师范学院“逸夫高等职业技术教育中心”，是浙江省最早开展全日制高等职业技术教育的机构之一。1996年发展成为宁波大学职业技术学院。2000年原国家海洋局宁波海洋学校、原国家林业部宁波林业学校并入。2003年浙江省政府批准在宁波大学职教学院的基础上组建为独立建制的宁波城市职业技术学院。

学校依据《职业教育信息化标杆学校建设指南》，充分实践数字赋能师生发展、教育教学和管理服务创新。2020年成为全国职业院校数字校园建设样校，2025年通过浙江省职教信息化标杆校验收，入选教育部第一批数字校园建设试点、浙江省智慧教育平台试点，多次评为浙江省高校网络信息化建设先进单位。学校F5G全光校园网建设案例入选了全国信息技术标准化技术委员会教育技术分技术委员会的《数字教育标准研究报告与应用案例汇编》。

学校建立以“3网新基建”为保障，“1库数智大脑”为主体，“3平台综合服务”为基础，“4+X应用场景”为亮点的智慧校园体系。2023年7月学校响应“光富浙里”行动计划，启动F5G全光校园网络改造。2024年10月建设完成。项目建设内容包括：全光网络、智慧教室、智慧安防、能耗管控、校园广播、信息发布、IP语音电话等系统，为智慧校园发展提供坚实的网络基础设施。

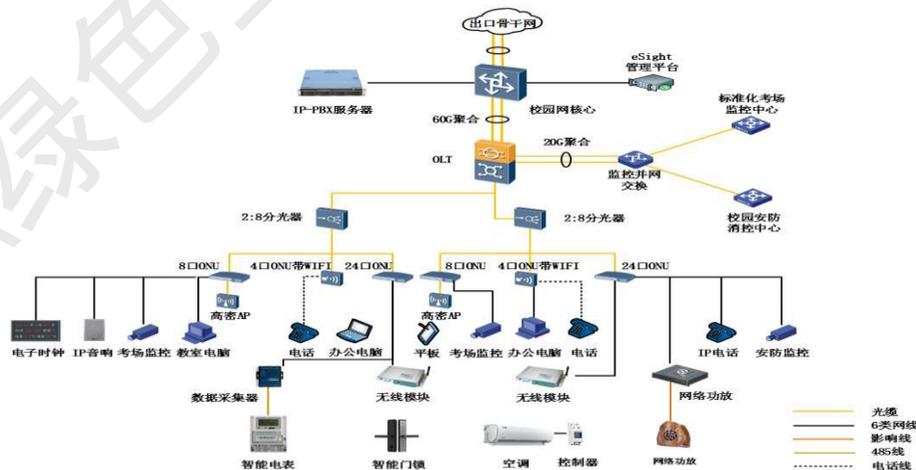


图 3-17 宁波城市职业技术学院组网图

校园网络核心层采用 60G 接口高速互联，通过 10G 上下行的对称传输，实现了 XGS-PON+Wi-Fi 6 的全面覆盖，为师生教学、管理和服务、智慧校园应用提供坚实的网络基础。

项目亮点：

极简架构与绿色节能：F5G 全光校园网采用两层扁平化架构，以无源分光器替代传统汇聚交换机，减少 80% 弱电机房空间和布线需求，降低 30% 整网能耗。光纤直接到宿舍、教室等末端场景，无需弱电间及辅助散热设备，符合节能减排趋势。光网络抗电磁干扰能力强，轻量化的特性进一步优化了部署效率，为师生带来高速、安全、绿色的网络体验。

超大带宽与平滑演进：基于 XGS-PON 技术实现上下行对称 10G 带宽，支持 4K/8K 视频、VR/AR 教学等高带宽应用，通过硬隔离切片技术保障关键业务（如直播课堂）零卡顿，为物联网、虚拟现实、人工智能等新兴应用提供可持续扩展的传输基础，可平滑升级至 50G-PON 甚至 100G PON，仅需更换板卡或光模块，无需改造光纤基础设施，满足未来 10 年带宽需求。

多业务统一承载：教学区采用全光传输，满足网络教学、高带宽高并发无线接入等场景需求。智慧教室内中控、PC、视频录播、音频广播、多屏展示等物联终端设备全部接入 ONU。办公区利用现有的光纤网络基础设施实现 IP 电话功能，无需额外建设专用的电话线路和交换机，显著降低了基础设施投资和运维成本。学生宿舍区采用支持 Wi-Fi6 的 ONU 设备，实现宿舍区域有线无线网络的统一承载。配合 OLT 内置的 AC 功能模块，实现 Wi-Fi 的统一漫游与调优。硬管道切片技术实现业务逻辑隔离，保障安全性。

智能化运维管理：光终端 ONU 即插即用，配置自动下发。通过 eSight 统一网管平台，实现交换机、PON 设备、防火墙等资源的集中监控，故障定位效率提升 60%。无源分光器免维护，多台 OLT 合一，缩减了 CO 机房部署空间，软硬件资源隔离，安全可靠，分域运营管理，减轻了校园网络整体运维压力。

第四章

职业教育 F5G 全光网 规划指南



4.1 F5G 全光网网络设计原则

4.1.1 职业教育的范围

职业学校教育分为中等职业学校教育、高等职业学校教育。中等职业学校教育由高级中等教育层次的中职学校（含技工学校）实施。高等职业学校教育由专科、本科及以上教育层次的高等职业学校和普通高等学校实施，符合条件的技师学院也纳入高等职业学校序列。

4.1.2 网络设计原则

- **客户需求优先原则：**规划设计应基于职业院校的应用场景等正式需求文件进行设计，满足职业院校的使用要求。
- **可靠性原则：**组网和设备可靠性应满足高校要求，充分考虑设备及物理线路的冗余备份。
- **可扩展性原则：**网络设备以及 ODN 基础设施应具备可扩展性，如 OLT 预留可用于扩展的槽位，ONU 预留多余的空闲接口，光缆有一定的光纤资源预留，光路连接设备有多余的连接接口，以及安装空间有预留等。
- **经济性原则：**应考虑网络系统综合成本最优，应统筹考虑设备成本、工程成本、维护成本，以及后期管理的便利性，充分利用既有可用资源。
- **易实施性原则：**项目建设应尽量做到节点少，布线路由合理，布线空间充足，设备安装位置及空间适当，以便于工程实施与维护。
- **易维护性原则：**应选择通用型的基础设施结构件及光路器件等，以便备件替换等。

4.2 F5G 全光网组网模式

4.2.1 F5G 全光网络组网

职业教育的组网图包含了 2 种不同的组网方式，一种是中大型的职业院校组网，另外一种是中小型的职业院校组网。不同的组网方式如下。

在中大型的职业院校网络中，在校园核心机房中部署核心交换机和 OLT 设备，核心交换机连接各种服务器（各种平台和系统），并通过防火墙和出口路由器连接至 Internet 网；在教室、办公室、宿舍等部署 ONU 设备，宿舍的 ONU 提供 Wi-Fi 功能，可接入宿舍内的手机、便携机等。

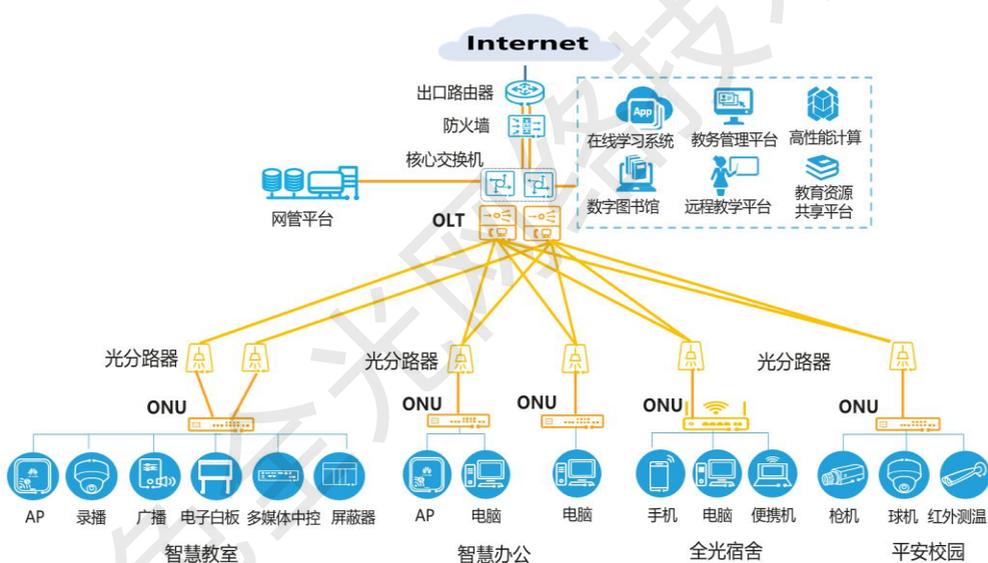


图 4-1 中大型职业院校网络组网

在中小型及以下的职业院校网络中，在校园核心机房中部署 OLT 设备，OLT 设备连接各种服务器（各种平台和系统），并通过防火墙和出口路由器连接至 Internet 网；在教室、办公室、宿舍等部署 ONU 设备，教室、办公室、宿舍等的 ONU 提供 Wi-Fi 功能，可接入宿舍内的手机、便携机等。

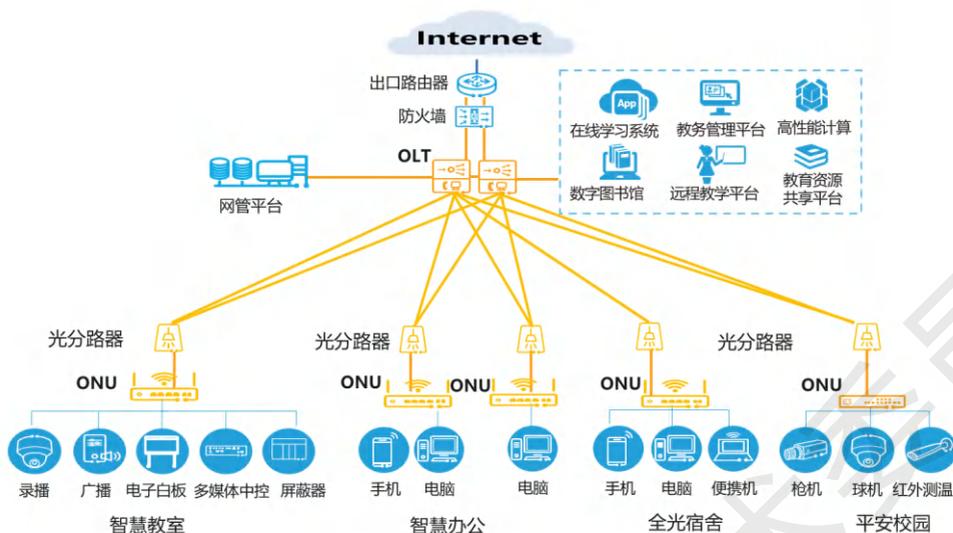


图 4-2 中小型职业院校网络组网

职业教育的主流场景主要包括智慧教室、智慧办公、实训室、全光宿舍和平安校园等。

4.2.2 F5G 全光网建网模式

职业院校的网络从功能和应用上通常划分为校园信息网络和智能化设备网络两张网络，大部分情况下可考虑将这 2 张网络采用硬隔离切片等方式合并为一张物理网络承载，以简化网络架构。也可采用 2 套独立的核心交换机-OLT-光分配网络 ODN-ONU 网络承载。

职业教育 F5G 全光网各个网络之间的网络组网模式如下表所示。

表 4-1：职业院校网络的常见网络组网模式

子网名称	校园信息网	智能化设备网
组网方式 1	多网融合（学校网）	
组网方式 2	校园信息网	智能化设备网

职业教育的学校网络通常情况下采用多网融合的方式，将校园信息网和智能化设备网两张网络融合为一张物理光纤网络进行承载。F5G 全光网可支持通过切片等技术实现多张子网络之间的硬隔离。

4.3 F5G 全光网保护方式选择

职业教育对网络的可靠性要求相对较高，需在网络设计时考虑保护的功能，特别应考虑网络设备和物理线路（光纤）的保护。F5G 全光网的组网保护方式分为 Type B 保护和 Type C 保护 2 种。配置了 Type B 保护和 Type C 保护后，若被保护部件出现了故障，F5G 全光网络可直接触发倒换，无需人工干预。

4.3.1 Type B 保护方式

F5G 全光网的 Type B 保护方式：PON 网络中 OLT 的 PON 端口、主干光纤均实现双路冗余的保护。

单归属保护方式：分光器的 2 根上行光纤（主干光纤）接到 1 台 OLT 的 2 个不同 PON 端口进行保护。

双归属保护方式：分光器的 2 根上行光纤（主干光纤）分别接到 2 台 OLT 的不同 PON 端口进行保护。

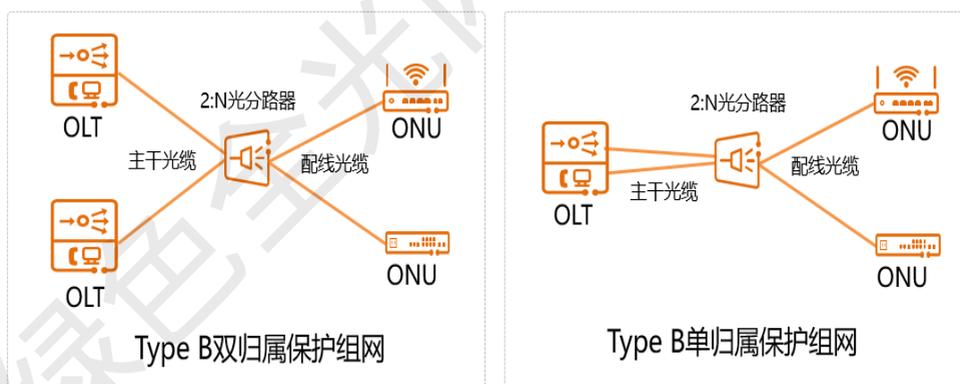


图 4-3 F5G 全光网 Type B 保护方式

Type B 双归属保护方式可实现对主干光纤和 OLT（包括 OLT 设备，OLT 的 PON 端口和 OLT 的上行端口）的保护。

Type B 双归属保护方式需配置 2 台独立的 OLT 设备，采用 2:N 的分光器，主干光缆连接至 2 台 OLT，ONU 设备采用单 PON 口上行。

职业教育对网络的可靠性要求高，普通教室、宿舍、办公室、平安校园等场景的 F5G 全光网宜采用 Type B 双归属的方式进行组网保护。

4.3.2 Type C 保护方式

F5G 全光网的 Type C 保护方式：PON 网络中 OLT 的 PON 端口、ONU 的 PON 端口、主干光纤、配线光纤、光分路器均双路冗余的保护。

单归属保护方式：不同的光分路器上行光纤（主干光纤）接到 1 台 OLT 的 2 个不同 PON 端口进行保护。

双归属保护方式：不同的光分路器上行光纤（主干光纤）分别接到 2 台 OLT 的不同 PON 端口进行保护。

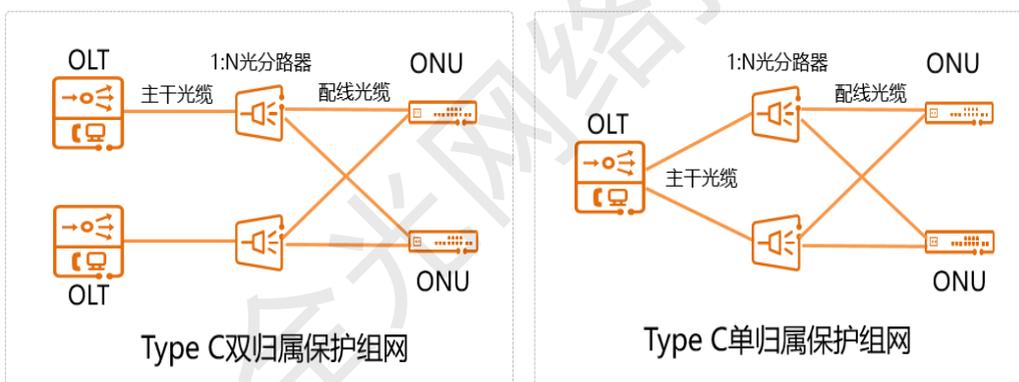


图 4-4 F5G 全光网 Type C 保护方式

Type C 双归属保护方式可实现对 OLT（包括 OLT 设备，OLT 的 PON 端口和 OLT 的上行端口）、主干光缆、光分路器、配线光缆和 ONU 上行 PON 端口的保护。

Type C 双归属保护方式需配置 2 台 OLT 设备，2 台 1：N 光分路器，独立的主干光缆，独立的配线光缆及支持双 PON 端口上行的 ONU 设备。

Type C 双归属保护支持了端到端的冗余备份保护，可靠性高，职业教育的智慧教室、标准化考场等场景的 F5G 全光网可考虑采用 Type C 双归属的方式

进行组网保护。

Type B/Type C 的保护范围如下表所示。

表 4-2 Type B/Type C 保护的比较

保护方案	保护范围	推荐场景
Type B 单归属	OLT 的 PON 口、主干光纤	/
Type B 双归属	OLT 设备, OLT 的 PON 端口和 OLT 的上行端口、主干光纤	普通教室、宿舍、办公、实训室、平安校园等
Type C 单归属	OLT 的 PON 口、ONU 的 PON 口、主干光纤、配线光纤、光分路器	/
Type C 双归属	OLT 设备, OLT 的 PON 端口和 OLT 的上行端口、主干光缆、光分路器、配线光缆和 ONU 上行 PON 端口	智慧教室、标准化考场等

4.4 F5G 全光网 PON 技术选择

4.4.1 PON 的技术差异

国际电信联盟 ITU 制定的 GPON/XGS-PON 系列标准是当前主流使用标准, 当前主流技术是 GPON 和 XGS-PON 技术, 下一步将会演进至 50G-PON, 50G-PON 于 2025 年左右开始批量商用。

职业教育 F5G 全光网主要采用 GPON 技术、XGS-PON 技术, 也会少量使用 50G-PON 技术。GPON 提供 2.5G/1.25G 线路带宽; XGS-PON 提供 10G/10G 的线路带宽; 对称 50G-PON 提供 50G/50G 的线路带宽。GPON、XGS-PON 和对称 50G-PON 技术的具体技术参数如下表所示:

表 4-3 GPON/XGS-PON/50G-PON 的主要技术参数

技术参数	GPON	XGS-PON	对称 50G-PON
下行线路速率 (Mbit/s)	2488	9953	49766
上行线路速率 (Mbit/s)	1244	9953	49766
下行中心波长 (nm)	1490	1577	1342
上行中心波长 (nm)	1310	1270	1286
下行有效带宽 (Gbit/s)	2.44~2.49	8.6~9.5	42.2~48.9
上行有效带宽 (Gbit/s)	1.05~1.24	8.5~9.4	40.1~46.5
光功率预算 (dB)	CLASS B+: 28 CLASS C+: 32 CLASS D: 35	N1: 29 N2: 31 E1: 33	N1: 29

注：有效带宽按照每 PON 端口带 64 个 ONU 计算

此外，还存在多种 PON 技术共存的 PON Combo 技术，如 XGS-PON Combo，在 OLT 的一个 XGS-PON Combo 端口下同时支持 XGS-PON 和 GPON，可以同时接 XGS-PON ONU 和 GPON ONU。50G-PON 也支持 50G-PON Combo 模式，在 OLT 的一个 50G-PON Combo 端口下同时支持 50G-PON、XGS-PON 和 GPON，可同时接入 50G-PON ONU、XGS-PON ONU 和 GPON ONU。

4.4.2 PON 技术选择原则

职业教育不同的区域对数据流量的带宽要求也不同，按照流量带宽的要求划分，可分为高流量区域和普通流量区域。不同的区域可选择不同的 PON 技术。

(1) 超高流量区域

职业教育的超高流量区域主要更高速率要求的无线回传 (Wi-Fi7 AP)、智慧教室等场景，这些区域可考虑采用 50G-PON (含 50G-PON Combo) 或 XGS-PON。

（2）高流量区域

职业教育的高流量区域主要包括普通教室、宿舍和办公等区域，这些区域有较大流量业务的需求。高流量区域推荐采用 XGS-PON(含 XGS-PON Combo) 技术，以支撑大流量的业务上传和下载。

（3）普通流量区域

职业教育的普通流量区域主要包括平安校园等。普通流量区域可使用 GPON 技术，满足摄像机等较低速率的回传。

职业教育各区域的 PON 技术选择总结如下表所示。

表 4-4 职业教育各流量区域的 PON 技术选择建议

流量区域	推荐选用的 PON 技术
超高流量区域（智慧教室、大量 Wi-Fi7 AP 承载）	50G-PON 技术
高流量区域（普通教室、宿舍、办公室）	XGS-PON 技术
普通流量区域（平安校园）	GPON 技术

在同一个职业教育项目中，可在同一个光纤网络中同时采用 GPON 技术、XGS-PON 技术或对称 50G-PON 技术，如在大量 Wi-Fi 回传/智慧教室网络等超高流量区域可采用对称 50G-PON，普通教室/办公等高流量区域可采用 XGS-PON 技术，在校园监控等普通流量区域可采用 GPON 技术。50G-PON 技术、XGS-PON 技术和 GPON 技术可通过采用不同的光波长耦合到一根光纤上进行数据传输，并通过不同的波长进行隔离。

4.5 F5G 全光网信息点部署指南

不同地域（如西北/华南等）的职业教育校园网络具体情况不一样，所以建议根据职教客户的要求，适当考虑将来的扩展性，按照不同的场景选择相应的信息点数量。

4.5.1 教室场景

职业院校的教室分为普通教室、智慧教室、计算机教室等，不同的教室所需的信息点数量也不同。

1、普通教室信息点推荐配置请参见下表，通常情况下，表中配置情况为“推荐”的信息点为默认推荐配置，表中配置情况为“可选”的信息点为可选配置，可预留相应管道，支持后续的扩展。具体项目中普通教室的信息点位置及数量需要和学校客户提前沟通确认，并根据具体的要求增删。

表 4-5 普通教室信息点分布

序号	信息点名称	数量	备注	配置情况
1	电子白板	1		推荐
2	教师电脑	1		推荐
3	教学一体机	1		推荐
4	电子班牌	1		推荐
5	无线 AP	1	POE 供电	推荐
6	面朝学生摄像机	1	POE 供电	推荐
7	教学扬声器（音箱）	1		推荐
8	面朝老师摄像机	1	POE 供电	推荐
9	吸顶收音器	1		可选
10	电子时钟	1		可选
11	考试身份识别	1		可选
12	考场摄像机	2	POE 供电	可选

普通教室的 ONU 通常部署于教室前部嵌墙安装的信息配线箱内，通过网线连接至各个信息点。从信息配线箱引出的网线分别连接至教学扬声器（主音箱）、教师电脑、教学一体机、电子白板、面朝学生摄像机（前置摄像机）、无线 AP、面朝老师摄像机（后置摄像机）和电子班牌。无线 AP、面朝学生摄像机（前置摄像机）和面朝老师摄像机（后置摄像机）需考虑提供 POE 的功能。

普通教室信息点的分布如下图所示。



图 4-5 普通教室信息点分布

2、智慧教室信息点推荐配置请参见下表，通常情况下，表中配置情况为“推荐”的信息点为默认推荐配置，表中配置情况为“可选”的信息点为可选配置，可预留相应管道，支持后续的扩展。具体项目中智慧教室的信息点位置及数量需要和学校客户提前沟通确认，并根据具体的要求增删。

表 4-6 智慧教室各信息点分布

序号	信息点名称	数量	备注	配置情况
1	教师屏	1		推荐
2	小组屏	4		推荐
3	教师电脑	1		推荐
4	教学一体机	1		推荐
5	电子班牌	1		推荐
6	无线 AP	1	POE 供电	推荐
7	面朝学生摄像机	1	POE 供电	推荐
8	教学扬声器（音箱）	1		推荐
9	面朝老师摄像机	1	POE 供电	推荐

序号	信息点名称	数量	备注	配置情况
10	吸顶收音器	1		可选
11	电子时钟	1		可选
12	考试身份识别	1		可选
13	考场摄像机	2	POE 供电	可选

3、计算机教室信息点推荐配置和普通教室类似，计算机教室和普通教室相比，新增了每个学生 1 个信息点。具体项目中计算机教室的信息点位置及数量需要和高校客户提前沟通确认，并根据具体的要求增删。

表 4-7 计算机教室内各信息点分布

序号	信息点名称	数量	备注	配置情况
1	电子白板	1		推荐
2	讲台电脑	1		推荐
3	教学一体机	1		推荐
4	电子班牌	1		推荐
5	无线 AP	1	POE 供电	推荐
6	面朝学生摄像机	1	POE 供电	推荐
7	学生上课计算机	1/座位		推荐
8	教学扬声器（音箱）	1		推荐
9	面朝老师摄像机	1	POE 供电	推荐
10	吸顶收音器	1		可选
11	电子时钟	1		可选
12	考试身份识别	1		可选
13	考场摄像机	2	POE 供电	可选

4、其他功能教室的信息点推荐配置可参见普通教室信息点推荐，并根据具体的情况增删考场摄像机等信息点。

4.5.2 办公场景

职业院校的办公场景主要包括教师办公室、会议室等，办公室信息点推荐配置请参见下表。具体项目中办公室场景信息点位置及数量需要和学校客户提前沟通确认，并根据具体的要求增删。

表 4-8 办公场景各信息点分布

序号	信息点名称	数量	备注	配置情况
1	办公室：无线 AP	1 个/办公室	POE 供电	推荐
2	办公室：数据信息点	1 个/办公位		推荐
3	办公室：语音信息点	1 个/办公室		推荐
4	办公室：预留数据信息点	2 个/办公室		可选

办公室场景中，每间办公室通常部署 1 个无线 AP（一个无线 AP 通常的覆盖半径约为 20 米~30 米），如果存在面积较大的大型办公室，可按需增加无线 AP 的数量。

会议室信息点推荐配置请参见下表。具体项目中会议室场景信息点位置及数量需和学校客户提前沟通，并根据具体的要求增删。

表 4-9 办公场景各信息点分布

序号	信息点名称	数量	备注	配置情况
1	会议室：无线 AP	1 个/会议室	POE 供电	推荐
2	会议室：数据信息点	6 个/会议室		推荐
3	大型会议室：无线 AP（预留）	1 个/会议室	POE 供电	可选

会议室场景中，每间会议室通常部署 1 个无线 AP，如果存在面积较大的大型会议室，可按需增加无线 AP 的数量。

4.5.3 宿舍场景

职业教育宿舍场景信息点推荐配置请参见下表。不同的学校的宿舍场景也有差异，有部分宿舍为 4 人间，有部分宿舍存在 6~8 人间的情况，具体项目中宿舍场景信息点位置及数量需要和学校客户提前沟通确认，并根据具体的要求

增删。

4 人间宿舍场景信息点分布参考如下表所示：

表 4-10 4 人间宿舍信息点分布

序号	信息点名称	数量	备注
1	数据信息点	4	每个学生 1 个信息点
2	Wi-Fi 接入点 (AP)	1	每个宿舍 1 个, ONU 内置 Wi-Fi

宿舍的 ONU 通常挂装在宿舍内门口的上方, 通过 Wi-Fi 覆盖本宿舍, 此外通过网线连接至墙上的信息面板。宿舍内各信息点的分布如下图所示。

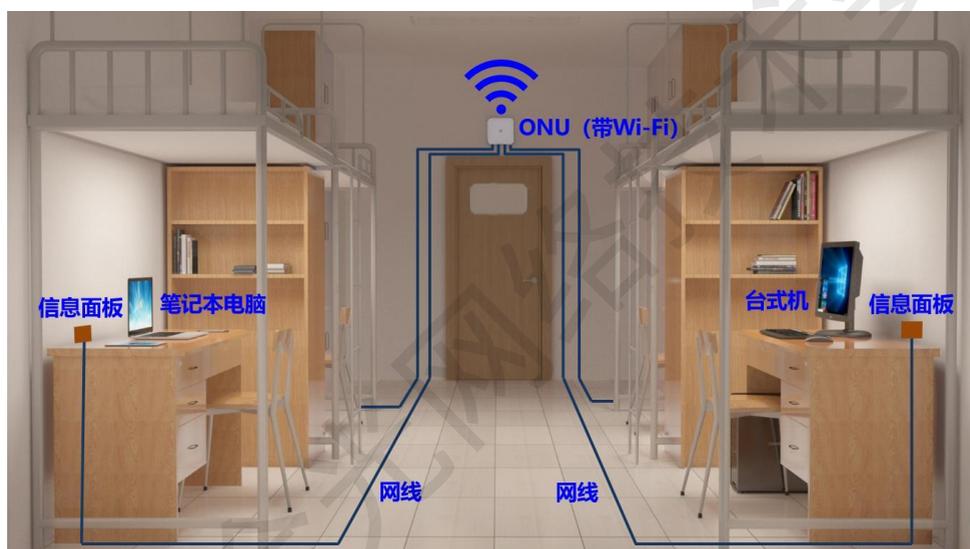


图 4-6 4 人宿舍信息点分布

6~8 人间宿舍场景信息点分布参考如下表所示：

表 4-11 6~8 人间宿舍信息点分布

序号	信息点名称	数量	备注
1	数据信息点	6~8	每个学生 1 个信息点
2	Wi-Fi 接入点 (AP)	1	每个宿舍 1 个, ONU 内置 Wi-Fi

职业教育宿舍通常按照每个学生一个数据信息点部署；通常每个宿舍部署一个 Wi-Fi 接入点（采用 ONU 自带的 Wi-Fi 功能），每个宿舍都需要支持 Wi-Fi 的覆盖；

宿舍场景所使用的 ONU 宜采用本地供电，如果有集中供电的诉求，也可采用光电复合缆支撑远程集中供电。

4.5.4 平安校园场景

平安校园主要包括校园大门出入口、校园的周界安防、大楼的出入口、以及楼内的安防监控等。

室外的监控摄像机部署按需部署，建议采用本地取电，通过安装在室外箱的 ONU 实现光纤回传。楼内的安防监控需在走廊部署监控摄像机（通常是在走廊两端各部署一个监控摄像机，若走廊两端不在一个直线上，可按需增加监控摄像机）。包括教室、实训室、办公室和宿舍等场景的走廊、楼梯、电梯间等都要部署摄像机实现无死角的监控。

第五章

职业教育 F5G 全光网 配置指南



5.1 F5G 全光网 ONU 选择

ONU 是职业教育 F5G 全光校园的重要组成部分，应根据不同的应用场景和功能等选择 ONU。

5.1.1 ONU 选择原则

- ONU 的选择和放置应尽可能靠近最终用户终端，缩短以太网线缆（铜缆）的距离，支撑未来带宽的平滑演进。
- 宿舍宜采用带 Wi-Fi 功能的 ONU，宿舍 ONU 统一提供有线接入和无线接入功能。
- 一个封闭区间（如房间）应采用 1 个或多个 ONU 覆盖，尽量避免出现一个 ONU 覆盖多个房间，以降低故障定位和维护难度。
- ONU 选型时要考虑设备安装，保证安装的规范性、设备散热等。为便于部署与维护，项目中选用的 ONU 类型不宜过多。
- ONU 选择应尽量考虑美观，尽可能将信息配线箱嵌墙暗装在墙内，光纤、网线和电源线等需提前预留。ONU 宜就近引入 220V 交流电源，也可采用光电复合缆等进行远程供电。

5.1.2 ONU 选型指导

职业教育 F5G 全光网可根据不同的场景和应用选择 ONU 种类。

(1) 根据 F5G 全光网所采用的 PON 技术选择 ONU 型号。GPON 网络选择 GPON ONU，XGS-PON 网络选择 XGS-PON ONU，50G-PON 网络选择 50G-PON ONU；如采用 Combo 组网，可选择多种 ONU。

(2) 根据 F5G 全光网的保护模式选择 ONU 型号。如采用 Type B 保护，选择单 PON 口上行的 ONU；如采用 Type C 保护，选择双 PON 口上行的 ONU。

(3) 根据 F5G 全光网所支持的业务类型选择 ONU 型号。如接高端的 Wi-

Fi 6/7 AP，宜选择提供 2.5GE/10GE 接口和 POE+/POE++功能的 ONU；如接摄像机等监控设备，宜选择提供 GE 接口和 POE 功能的 ONU；如需提供 Wi-Fi 功能，应选择带 Wi-Fi 功能的 ONU 设备；如需提供 POTS 接口，应选择带 POTS 接口的 ONU 设备。

(4) 根据不同区域的信息点数量要求选择 ONU 型号。对于教室或者办公室场景，可采用 8 个 GE 口、4 个 GE 口或 8 个 GE+2 个 2.5GE/10GE 的 ONU 设备；对于宿舍场景，可根据宿舍的学生数量选用带 Wi-Fi 功能且带 4 个 GE 口或 8 个 GE 口的 ONU 设备；对于智慧教室或标准化考场场景，可采用双 PON 口上行的 ONU 设备。如在开放办公区/走廊等公共区域，可考虑就近放置信息配线箱，若无法放置信息配线箱，可考虑在弱电间放置 24 个 GE 口的 ONU；

➤ SFP ONU

SFPONU 的尺寸和常见的 SFP 以太网光模块类似，可直接替代通用 SFP 以太网光模块，插入到提供光接口的 AP/摄像机等设备，支持光纤到设备。

在职业教育的某些场所需要高带宽高密 AP 覆盖时（如体育馆、大礼堂等场所），可采用 SFPONU 加高性能 AP 的方式，实现光纤到高性能 AP，提供高速高密的无线上网体验。



图 5-1 SFP ONU

➤ 86 盒面板 ONU

86 盒面板 ONU 和当前使用的 86 信息面板尺寸类似，通常为 86mm×86mm 的尺寸，可考虑将 86 盒面板 ONU 直接安装于原桌面 86 信息面板位置，借用原来的 86 信息面板底盒安装，可减少信息配线箱，可在办公桌面等位置安装，缩

短网线的长度。

在职业教育的某些大开间场景（如大开间办公室的办公桌等），可采用 86 盒面板 ONU，安装于办公桌面上，实现光纤到桌面。



图 5-2 86 盒面板 ONU

➤ 盒式 ONU

盒式 ONU 根据安装方式和安装位置的不同，也可以分为 2 种，一种盒式 ONU 是在桌面放置或者桌子下方或侧面挂装，属于光纤到桌面类型，光纤到桌面的 ONU 用户侧端口数量有 4 个/8 个 GE 接口，也有些 ONU 可提供更高速以太网接口；另外一种盒式 ONU 是安装于房间内的信息配线箱内，属于光纤到房间类型。

光纤到房间的 ONU 用户侧端口数有 4 个 GE 接口、8 个 GE 接口或者更多数量 GE 接口，有部分盒式 ONU 还可提供 2.5GE 或 10GE 的以太网高速接口。部分盒式 ONU 还可提供 POE 的功能，部分盒式 ONU 可提供 POTS 接口功能。常见纯以太网口的盒式 ONU 种类如下：

- 4 个 GE 接口（POE 或非 POE），GPON 或 XGS-PON 上行；
- 8 个 GE 接口（POE 或非 POE），GPON 或 XGS-PON 上行；
- 8 个 GE 接口+2 个 2.5GE 接口（POE 或非 POE），XGS-PON 上行；
- 8 个 GE 接口+2 个 10GE 接口（POE 或非 POE），XGS-PON 上行；
- 12 个 GE 接口+4 个 2.5GE 接口（POE 或非 POE），XGS-PON 上行；



图 5-3 盒式 ONU

➤ 盒式 ONU（带 Wi-Fi 功能）

盒式 ONU（带 Wi-Fi）可同时提供 Wi-Fi 接入和有线接入，通常部署于学生宿舍及一些小型的会议室等，有线接入的用户侧端口可有 4 口 GE 或者 8 口 GE 等类型。

盒式 ONU（带 Wi-Fi）通常采用挂墙安装的方式，也有部分是采用吸顶安装的方式。盒式 ONU（带 Wi-Fi）如下图所示。



图 5-4 盒式 ONU（带 Wi-Fi）

➤ 机架式 ONU

机架式 ONU 通常为 19 英寸宽，提供大于 16 个 GE 接口，一般应用于大量信息点接入的场景或者满足较大范围内的稀疏覆盖场景。

机架式 ONU 通常安装于弱电间/教室内的 19 英寸机架中，提供大于 8 个

GE 以上的端口接入，满足电梯间、走廊等稀疏场景的信息点覆盖（通常接电梯间、走廊等的 Wi-Fi AP 或者摄像机，需提供 POE 功能）。机架式 ONU 也常用于多媒体教室等高密度接入的场景。常用的机架式 ONU 如下图所示。



图 5-5 机架式 ONU

➤ 职业教育 ONU 选型推荐

职业教育各个场景 ONU 选择推荐可参考下表

表 5-1 职业教育各场景的 ONU 选型推荐

场景区域	ONU 选型推荐	ONU 上行
普通教室	每间教室 1 台 8 个 GE 接口 ONU 或 每间教室 1 台 8 个 GE+2 个 2.5GE 或 10GE 接口 ONU	XGS-PON Type B 或 XGS-PON Type C
计算机教室	每间教室 2~3 台 24 个 GE 接口 ONU（根据 PC 数量选择）	XGS-PON Type C
智慧教室	每间教室 1 台 12 个 GE+2/4 个 2.5GE 或 10GE 接口 ONU	XGS-PON Type C
办公室	每间办公室 1 台 8 个 GE 接口 ONU 或 每间办公室 1 台 8 个 GE+2 个 2.5GE 或 10GE 接口 ONU	XGS-PON Type B
会议室	每间会议室 1 台 8 个 GE 接口 ONU 每间会议室 1 台 8 个 GE+2 个 2.5GE 或 10GE 接口 ONU	XGS-PON Type B
图书馆	图书馆按面积采用多台 8 个 GE 接口 ONU	XGS-PON Type B
食堂	采用 1 台 8 个 GE 接口 ONU	XGS-PON Type B
宿舍	每间宿舍 1 台 4 个 GE 接口 ONU（带 Wi-Fi）	XGS-PON Type B
公共区域	采用 24 个 GE 接口 ONU	XGS-PON Type C
平安校园	24 个 GE 接口 ONU（GPON 上行）	GPON Type C
平安校园	24 个 GE 接口 ONU（XGS-PON 上行）	XGS-PON Type C

5.1.3 ONU 部署位置

机架式 ONU 通常安装于弱电间的 19 英寸机架中，提供大于 8 个 GE 以太网接口接入，满足电梯间、走廊等稀疏场景的信息点覆盖（通常接电梯间、走廊等的 Wi-Fi AP 或者摄像机，需提供 POE 功能）。机架式 ONU 也常用于多媒体教室等高密度接入的场景。

盒式 ONU 可安装在房间的信息配线箱内。实现光纤到房间，此时信息配线箱可采用嵌墙安装的方式嵌于墙内，在 ONU 无法嵌墙安装场景（如部分改造场景或学生宿舍等）也可采用挂墙明装的方式挂装在墙上。

可根据信息配线箱内安装的 ONU 的个数及 ONU 端口数量选择不同尺寸的信息配线箱。通常情况下，嵌墙安装的信息配线箱箱底宜距地面 0.3 米。



图 5-6 ONU 放置于暗装信息配线箱内的安装方式

盒式 ONU 也可安装在开放型办公室的办公家具内。盒式 ONU 可侧挂或者下挂在办公家具内，实现光纤到桌面。下图为 ONU 安装在办公桌底部的方式，左边的图为 ONU 安装实际场景图，右下角是将 ONU 安装位置放大图示，ONU 安装于最顶端一层，中间层放置光纤转接器，最下面一层放置 ONU 的 DC 电源模块。ONU 提供 4 个 GE 以太网接口接到周边的 4 台 PC 上，满足 4 台 PC 的上网业务需求。

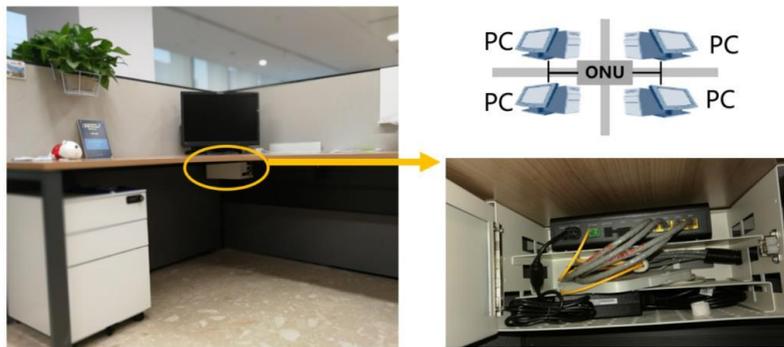


图 5-7 ONU 安装于办公家具内的安装方式

支持 Wi-Fi 的盒式 ONU 可挂墙安装在宿舍等类房间场景，同时提供 Wi-Fi 无线接入和 GE 等有线接口；支持 Wi-Fi 的盒式 OLT 也可吸顶安装。



图 5-8 支持 Wi-Fi 的盒式 ONU 挂墙安装方式

面板 ONU 安装于办公桌面或墙壁内的 86 底盒中，直接替代原 86 盒的信息插座，减少安装部件，实现光纤到桌面。

室外 ONU 可采用盒式 ONU 放置于室外箱挂杆等安装，也有室外一体化的 ONU，ONU 自带室外箱，支持室外摄像机等回传功能。

表 5-2 职业教育 F5G 全光网部分 ONU 类型及安装方式

ONU 类型	ONU 种类	用户侧接口	安装方式
光纤到设备	SFP ONU	以太网	内置于光接口的 AP 等
光纤到桌面	86 盒面板 ONU	以太网或语音	桌面 86 信息盒安装

ONU 类型	ONU 种类	用户侧接口	安装方式
光纤到桌面	盒式 ONU	以太网或语音	办公桌面或桌下安装
光纤到房间	盒式 ONU	以太网、语音或 POE	信息配线箱安装
光纤到房间	盒式 ONU (带 Wi-Fi)	以太网、Wi-Fi 或语音	挂墙安装或吸顶安装
光纤到弱电间	机架式 ONU	以太网、POE 或语音	弱电间机架安装
室外安装	盒式 ONU 或 一体化 ONU	以太网	室外箱安装或室外一体化设备安装

5.2 F5G 全光网信息配线箱选择

职业教育的信息配线箱的安装方式有多种，可嵌墙安装于墙内，或挂墙明装，也可安装于办公家具内。可根据信息点数量及 ONU 的数量选择合适的信息配线箱。信息配线箱内宜配置带保护接地的交流电源插座（应按照供电等级要求选择相应的供电电源），并应采取强、弱电安全隔离措施。

5.2.1 嵌墙安装信息配线箱

职业教育 F5G 全光网的教室/办公室等场景，推荐采用信息配线箱安装 ONU，且考虑到美观等因素，信息配线箱宜嵌墙安装。

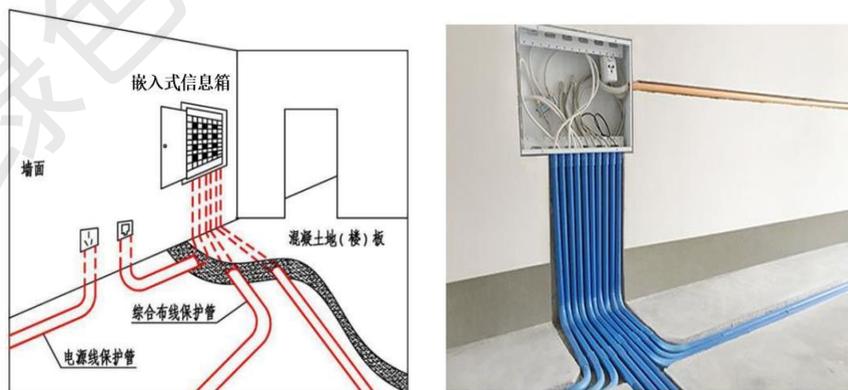


图 5-9 信息配线箱嵌墙安装示意图

应提前考虑将 220V 交流电源及光纤引至信息配线箱，信息配线箱内应提供 220V 电源插座给 ONU 供电，提供固定架以固定 ONU 和 ONU 的电源模块，建议提供光纤熔纤盘和配线模块。安装单台非 POE ONU 的信息配线箱如下图所示：

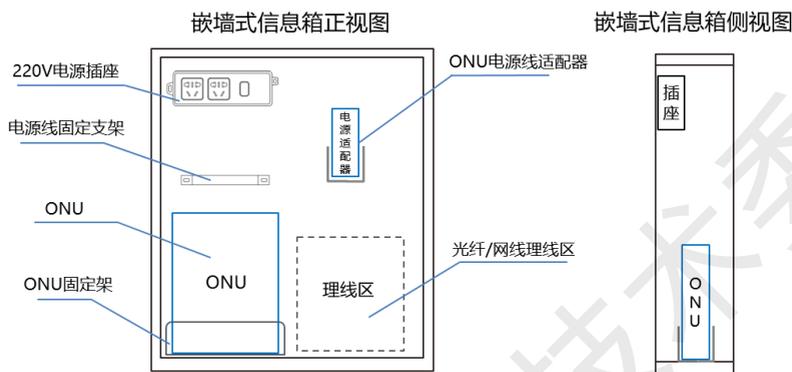


图 5-10 嵌墙式信息配线箱内部安装位置图（单台非 POE ONU）

信息配线箱的左上角部署一个 220V 电源插座（可考虑采用一个 2 位 5 孔插座，预留扩展性），该电源插座给 ONU 供电，且提前将 220V 交流电源引入至信息配线箱中。因当前通用的 ONU 都采用电源适配器供电，故信息配线箱内需预留电源适配器的固定位置及电源线的固定支架。

信息配线箱的左下角可安放一台非 POE 的 ONU 设备，信息配线箱的右下角提供理线区，ONU 输出端的以太网线及 ONU 输入端的单模光纤在理线区内理线、盘纤。信息配线箱内也可预留光纤熔纤盘和配线模块。

若独立空间（如办公室、教室等）的信息点数量较多，需配置 2 台 ONU 设备，则需选择更大尺寸的信息配线箱，放置 2 台 ONU 设备，这种信息配线箱内部部署示意图如下图所示：

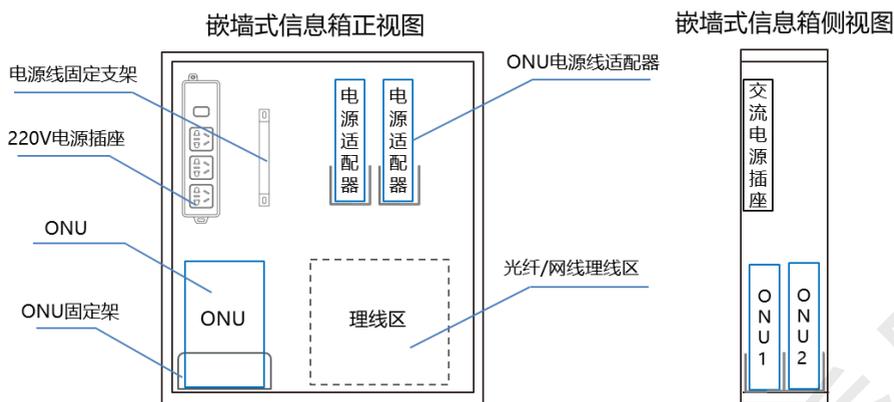


图 5-11 嵌墙式信息配线箱内部安装位置图（2 台 POE ONU）

信息配线箱的左上角部署 220V 交流电源插座（可考虑采用一个 3 位 5 孔插座，预留扩展性），该电源插座给 ONU 供电，需提前将 220V 交流电源引入至信息配线箱中。因当前 POE ONU 的电源适配器的体积比非 POE ONU 的体积大，故电源适配器安装位置需预留更大的空间；信息配线箱内需预留电源适配器的固定位置及电源线的固定支架。

信息配线箱可安放 2 台 POE ONU 设备，2 台 ONU 叠装于信息配线箱内，2 台 ONU 间需预留一定的空隙，以方便 2 台 ONU 的散热。信息配线箱的右下角提供理线区，ONU 输出端的以太网线及 ONU 输入端的单模光纤在理线区内理线、盘纤。信息配线箱内也可预留光纤熔纤盘和配线模块。

当前业界提供的信息配线箱种类较多，可按需选用，在选择信息配线箱时，需考虑 ONU 的安装尺寸和散热等要求，根据安装的 ONU 种类和数量进行选择。下表为业界安装非 POE ONU 的不同信息配线箱尺寸样例。

表 5-3 安装非 POE ONU 的嵌墙式信息配线箱尺寸

序号	安装方式	尺寸（高×宽×深）mm	安装 ONU 数量
1	嵌墙安装	底壳尺寸：400×300×100mm 面板尺寸：430×330×18mm	1 台非 POE ONU
2	嵌墙安装	底壳尺寸：450×350×120mm 面板尺寸：480×380×18mm	2 台非 POE ONU

序号	安装方式	尺寸（高×宽×深）mm	安装 ONU 数量
3	嵌墙安装	底壳尺寸：500×350×130mm 面板尺寸：530×380×18mm	3 台非 POE ONU

下表为业界安装 POE ONU 的不同信息配线箱尺寸样例。

表 5-4 安装 POE ONU 的嵌墙式信息配线箱尺寸

序号	安装方式	尺寸（高×宽×深）mm	安装 ONU 数量
1	嵌墙安装	底壳尺寸：530×480×120mm 面板尺寸：560×510×18mm	1 台 POE ONU
2	嵌墙安装	底壳尺寸：530×480×130mm 面板尺寸：560×510×18mm	2 台 POE ONU

5.2.2 挂墙安装信息配线箱

职业教育 F5G 全光网的宿舍/教室等某些改造场景中，原建筑物没有预留嵌墙安装信息配线箱的位置，也可考虑采用挂墙安装的信息配线箱安装 ONU。

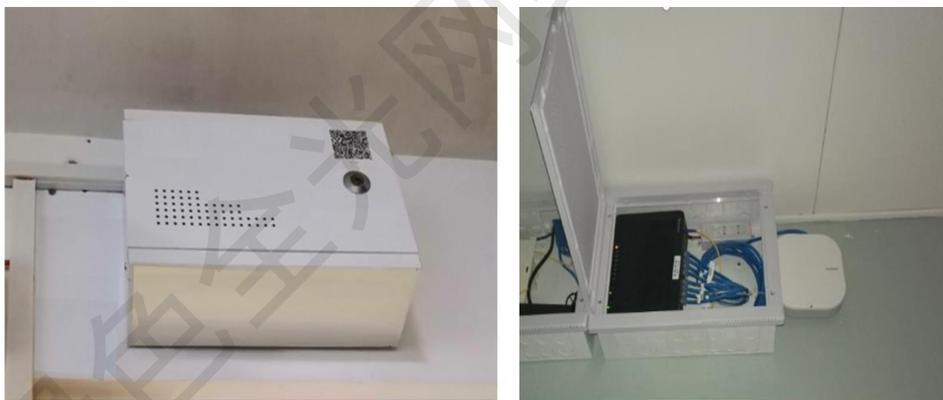


图 5-12 信息配线箱挂墙安装示意图

安装单台非 POE ONU 的信息配线箱中，设计时应提前将 220V 电源及光纤引入至信息配线箱，信息配线箱内应提供 220V 交流电源插座给 ONU 供电，提供固定架以固定 ONU 和 ONU 的电源，建议提供光纤熔纤盘和配线模块的功能。

信息配线箱的左上角部署 220V 电源插座（可考虑采用一个 2 位 5 孔插座，预留扩展性），用于给 ONU 供电，需提前将 220V 交流电源引入至信息配线箱

中。因当前通用的 ONU 都采用电源适配器供电，故在信息配线箱内需预留电源适配器的固定位置及电源线的固定支架。

信息配线箱的左下角可安放一台非 POE 的 ONU 设备，信息配线箱的右下角提供理线区，ONU 输出端的以太网线及 ONU 输入端的单模光纤在理线区内理线、盘纤。信息配线箱也可预留光纤熔纤盘和配线模块。

不同信息配线箱内各个部件的安放位置也有差异，安装单台非 POE ONU 的挂墙式信息配线箱内部安装位置图建议参考下图：

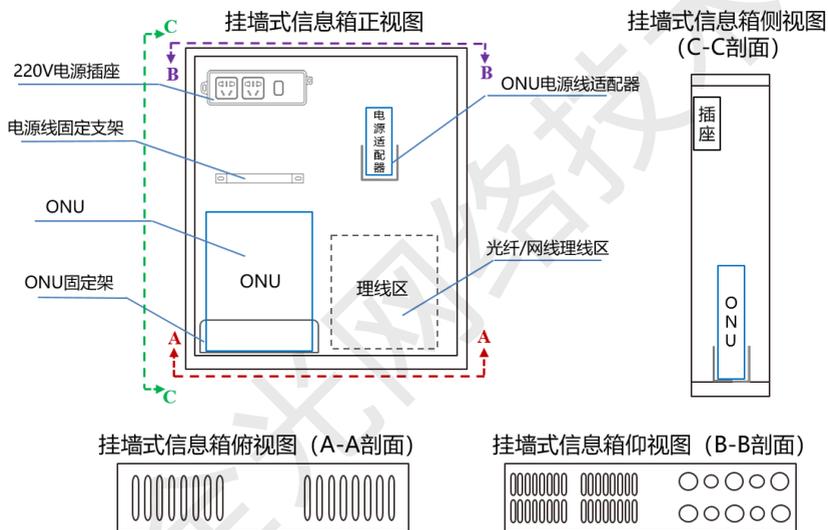


图 5-13 挂墙式信息配线箱内部安装位置图（单台非 POE ONU）

若一个信息配线箱内需放置 2 台 ONU 设备，需选择更大尺寸的信息配线箱，用于放置 2 台 ONU 设备，放置 2 台 POE ONU 的信息配线箱内部部署示意图如下图所示：

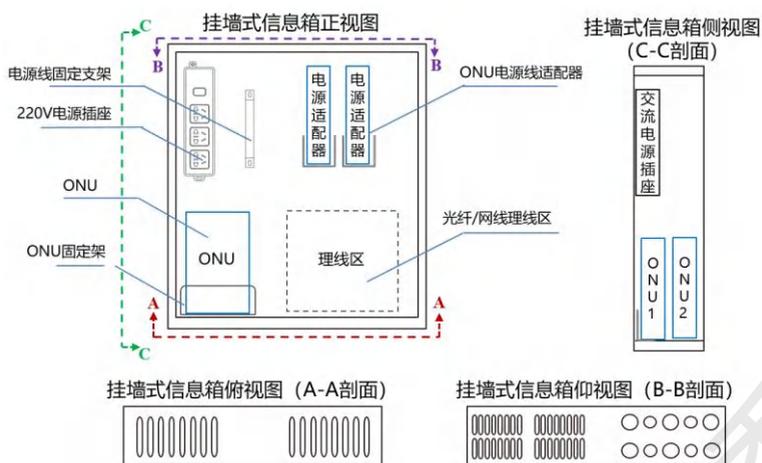


图 5-14 挂墙式信息配线箱内部安装位置图（2 台 POE ONU）

挂墙安装信息配线箱和嵌墙安装信息配线箱类似，挂墙安装信息配线箱内部空间部署和嵌墙安装信息配线箱相同。部分挂墙安装信息配线箱的尺寸可考虑参见下表。

表 5-5 部分挂墙安装信息配线箱尺寸

序号	安装方式	尺寸（高×宽×深）	安装 ONU 数量
1	挂墙安装	尺寸：400×300×100mm	1 台非 POE ONU
2	挂墙安装	尺寸：450×350×120mm	2 台非 POE ONU
3	挂墙安装	尺寸：500×350×130mm	3 台非 POE ONU
4	挂墙安装	尺寸：530×480×120mm	1 台 POE ONU
5	挂墙安装	尺寸：530×480×130mm	2 台 POE ONU

5.2.3 办公家具安装信息配线箱

在一些办公场景，也可采用光纤到桌面的方式建设，将 ONU 放置在办公家具中，实现光纤到办公桌，最大程度缩短以太网网线（4 对对绞电缆）的长度，提供更高的带宽和更灵活的扩展性。

在办公家具中安装信息配线箱也有多种方式，可根据不同家具的形态选择和安装，下图为业界的一个安装在办公桌下的信息配线箱示意图。

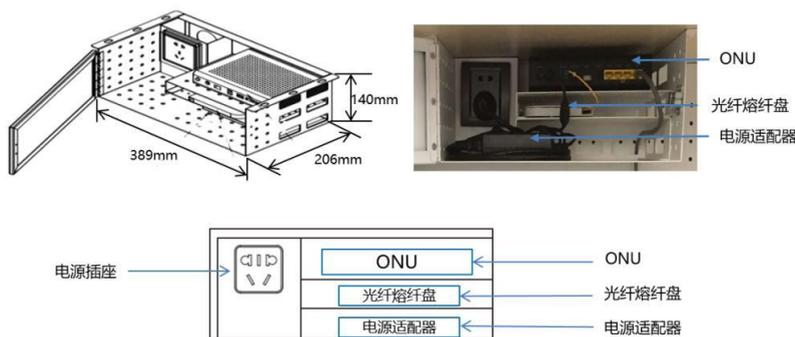


图 5-15 办公桌下安装 ONU 的信息配线箱

上图中，信息配线箱的左边是交流 220V 电源插座位置，需提前考虑将 220V 交流电引入至信息配线箱内。

信息配线箱的右边分为 3 个部分，最上面一层放置 ONU；中间层放置光纤熔纤盘；最下层放置 ONU 的电源连适配器。

5.2.4 86 信息面板底盒

在一些开放区域的办公场景，也可采用光纤到桌面的方式建设，可考虑采用 86 盒面板 ONU 直接替换原桌面上的 86 信息面板，安装于办公家具中，实现光纤到办公桌面。

采用 86 盒面板 ONU，通常是和 86 信息面板底盒配套使用，86 盒面板 ONU 的电源线及光缆等需要在 86 信息面板底盒中盘留，故对 86 信息面板底盒有相应的要求，前期施工的预埋管需和 86 信息面板底盒相匹配。按 GB 50311-2016《综合布线系统工程设计规范》7.1.1 中的要求，信息插座模块宜采用标准 86 系列面板安装，安装光纤模块的底盒深度不应小于 60mm。86 盒面板 ONU 应遵循安装光纤模块的要求，其 86 信息面板底盒深度不应小于 60mm。

按照中华人民共和国行业标准 JB/T 8593-2013 电器附件用面板、调整板和安装盒尺寸要求，86 信息面板底盒要求如下。

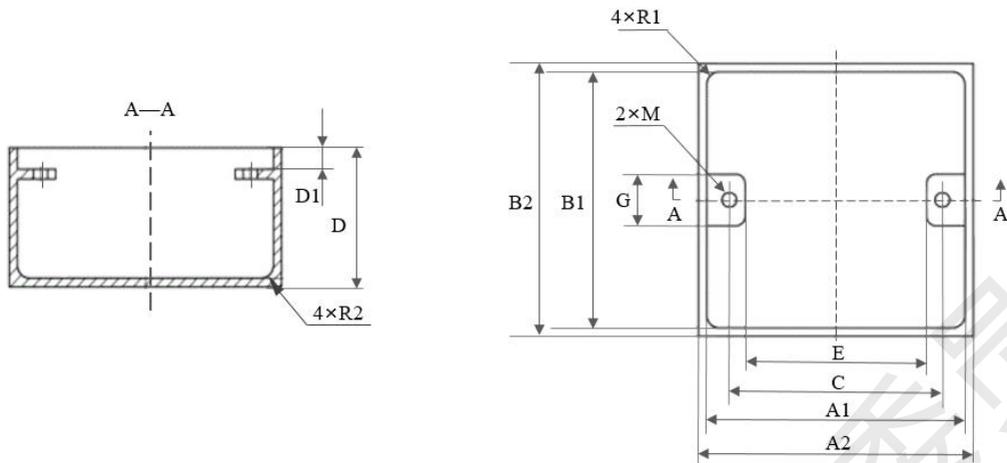


图 5-16 86 信息面板底盒尺寸图

上图中 86 信息面板底盒的各尺寸如下表所示

表 5-6 86 信息面板底盒的内腔体深度

安装盒材质	相关尺寸 (mm)							
	A1/B1	A2/B2	C	D1	E	G	R1	R2
金属材料	73 min	78 max	$60^{+0.5}_{-0.2}$	4~7	51 min	15 max	8 max	8 max
绝缘材料	69 min	78 max	$60^{+0.5}_{-0.2}$	4~7	51 min	15 max	8 max	8 max

86 信息面板底盒的深度 D 如下表所示。

表 5-7 86 信息面板底盒的内腔体深度

内腔体深度 D mm	适用范围
30^{+1}_0	适用于明装式安装盒
35^{+1*}_0	适用于明装式安装盒
$40^{+1.5}_0$	适用于暗装式安装盒
45^{+2*}_0	适用于暗装式安装盒、地面插座的安装盒
54^{+2}_0	适用于暗装式安装盒、地面插座的安装盒
64^{+2*}_0	适用于地面插座的安装盒
注：带*为优选值	

5.3 F5G 全光网光纤及光分路器选择

5.3.1 光纤种类选择

F5G 全光网主要采用光纤替代原来的以太网线缆（4 对对绞电缆），实现更高速率的接入。

F5G 全光网采用单模光纤，根据应用场景可分为室内光缆和室外光缆，室内光缆通常采用 G.657，室外光缆通常采用 G.652。

职业教育 F5G 全光网中，从楼层弱电间的光分路器到 ONU，建议采用 2 根单芯的光纤，一芯光纤正常使用，另外一芯光纤作为备份。

室内光纤采用 G.657 光纤，也可分为通用的蝶形光缆、外表有保护的铠装光缆等，可按需选用。在职业教育中使用较多的为蝶形光缆，蝶形光缆已经在 FTTH 家庭宽带中广泛使用，可靠性已经过长期的考验，价格也比较适中。

蝶形光缆的截面外形像蝴蝶，故命名为蝶形光缆，主要是有 3 个部分构成，第一部分是单模光纤（通常是单芯，也有双芯的），放置于蝶形光缆中心；第二部分是加强件，放置于光缆的两侧；第三部分是低烟无卤的护套，对光缆进行保护。加强件也可分为金属加强件及非金属的玻璃纤维两种。蝶形光缆的外形尺寸通常为 $3.0\pm 0.1\text{mm}\times 2.0\pm 0.1\text{mm}$ ，其示意图如下所示。

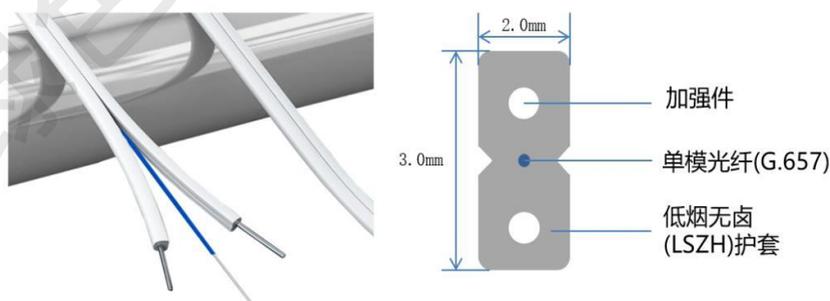


图 5-17 室内蝶形光缆示意图

通用的蝶形光缆的参数如下所示

表 5-8 蝶形光缆的参数

光缆型号	芯数	光缆参考重量 (kg/km)	允许拉伸力(N) 长期/短期	允许压扁力 (N/100mm) 长期/短期	弯曲半径(mm) 动态/静态
GJXFH -1Xn	1	8	40/80	500/1000	15/30
GJXFH -2Xn	2	8.5	40/80	500/1000	15/30

对于某些场景（如学生宿舍等），为解决取电不方便的问题，或为实现更精细的供电管理，也可采用光电复合缆给 ONU 设备供电。常用的光电复合缆种类如下所示：

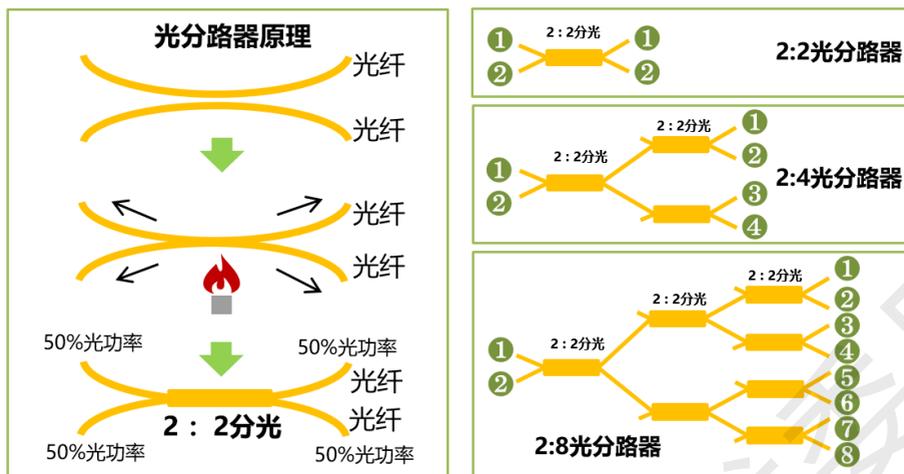


图 5-18 光电复合缆示意图

光电复合缆种类 1 借用了原来的蝶形光缆的外形，保留了原来蝶形光缆中的单模光纤，将原蝶形光缆中的金属/非金属的加强件更换为供电线导体，通过供电线导体实现对 ONU 等设备的远程供电；光电复合缆种类 2 采用圆形光缆，内部包含了 2 根供电线，以及一根单模光纤，光纤实现数据信号的传输；供电线实现对 ONU 等设备进行供电。

5.3.2 光分路器选型指南

F5G 全光网通过无源的光分路器实现了光纤的无源汇聚及交换，F5G 全光网光分路器的原理如下图所示。



以熔融拉锥光分路器为例

图 5-19 F5G 全光网光分路器原理

2: 2 光分路器为将 2 根光纤通过熔融拉伸合到一起，实现了光信号从一根光纤发送到 2 根光纤的功能。**光分路器只分 PON 光功率，不分 PON 带宽**，分光后每个光分路器输出的光功率只有输入的 50%，但是带宽可为输入的 100% 带宽。

F5G 全光网中，每个 ONU 的带宽是由 OLT 动态分配的（也可静态固定配置），和光分路器分光比无关，例如 OLT 的一个 XGS-PON 端口通过 2: 16 的光分路器接 1 个 8 口 ONU（VIP 用户）和 9 个 4 口 ONU（普通用户），OLT 可指定这个 8 口 ONU（VIP 用户）的带宽为 5Gbps，其余的 9 个 4 口 ONU（普通用户）共享 5Gbps 的带宽；如果这 10 个 ONU 的带宽需变更调整，只需在 OLT 上进行软件设置即可，光分路器等硬件设备无需变更。OLT 可支持每秒 8000 次对 ONU 进行带宽的动态调整和分配，更高效地实现各个 ONU 之间的带宽分配和共享，更适合园区网络的带宽模型。

光分路器进行 2:2 的分光之后，单个输出端口和输入端口相比，光功率减少了约 50%（有 50% 的能量分到另外一个输出端口了，2 个输出端口（各 50%）的总能量加起来为 100%），2:2 分光之后 PON 的光功率会简单约 3.5dB 左右

（光功率减少 50%引入的衰减约 3dB，其他的接口等衰减引入约 0.5dB），1: n PLC 均分光分路器和 2: n PLC 均分光分路器的光学性能分别如下表所示（PLC 器件插入损耗的测试波长为 1310nm、1490nm、1550nm，在 1260~1300nm 和 1600~1650nm 波长区间的插入损耗在表中指标基础上增加 0.3dB）。

表 5-9 1: n PLC 均分光分路器的光学性能

参数	光学性能指标			
1: n 分光比	1:4	1:8	1:16	1:32
工作波长 (nm)	1260~1650	1260~1650	1260~1650	1260~1650
PLC 器件插入损耗 (dB)	≤7.4	≤10.5	≤13.5	≤16.8

表 5-10 2: n PLC 均分光分路器的光学性能

参数	光学性能指标			
2: n 分光比	2:4	2:8	2:16	2:32
工作波长 (nm)	1260~1650	1260~1650	1260~1650	1260~1650
PLC 器件插入损耗 (dB)	≤7.6	≤10.8	≤13.8	≤17.1

➤ F5G 全光网光分路器的类型选择:

光分路器（也叫分光器）的种类比较多，包括盒式光分路器，托盘式光分路器，插片式光分路器等。在职业教育中光分路器应采用全带宽型（工作波长的范围是 1260nm~1650nm）和均匀分光型的平面波导型光分路器。光分路器端口类型的选用既要考虑方便维护管理又要考虑减少活动连接点的数量。

从应用和规划简化等方面考虑，推荐采用盒式光分路器插箱或者机架式光分配箱，直接安装于楼层弱电间的 19 英寸机架上。光分路器可对外提供标准的 SC 接头，可方便地完成光纤的跳纤和连接。

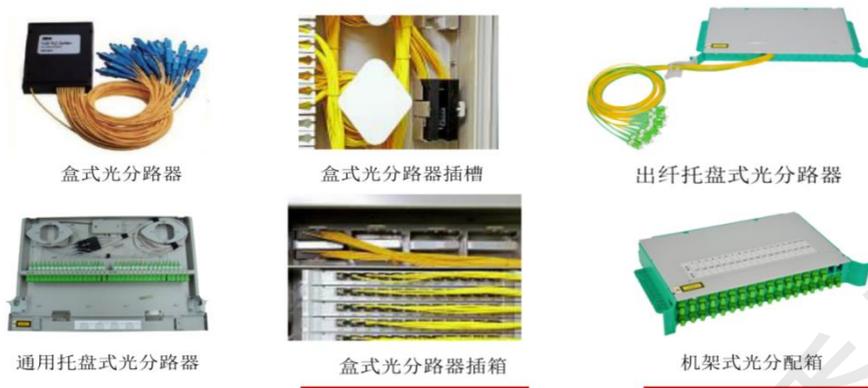


图 5-20 F5G 全光网光分路器的类型选择

➤ **F5G 全光网光分路器的分光比选择：**

职业教育 F5G 全光网中，通常每个教室/宿舍放置一个 ONU，分光比的选择可由每个 ONU（每个教室/宿舍）的最恶劣情况下保证带宽和光路衰减确定：

分光比= OLT 的 PON 端口带宽 ÷ 每个 ONU 最恶劣情况下保证带宽。

上述公式中，各个参数的含义如下：

(1) 分光比：按照 2、4、8、16、32、64 等数值进行选择，如果计算结果位于 2 个数字中间，则向下取值，例如分光比计算结果为 18，则向下取值 16。

(2) OLT 的 PON 端口带宽：根据所采用的 PON 技术确定端口带宽，如采用 GPON 技术，则下行带宽可按 2.5Gbps 计算，上行带宽可按 1.25Gbps 计算；如采用 XGS-PON 技术，其上下行方向的带宽都可按 10Gbps 计算。

(3) 最恶劣情况下保证带宽：每个教室/宿舍（每 ONU）在各种最恶劣环境下的业务保证带宽。注：该带宽指的是最恶劣情况下的可保证最小带宽，正常使用情况下每个教室/宿舍（每 ONU）的带宽都会远高于此值。每个教室/宿舍（每个 GPON ONU）的下行峰值带宽都可达到 2.5Gbps，每个教室/宿舍（每个 XGS-PON ONU）的下行峰值带宽可达到 10Gbps。

职业教育各个场景推荐的分光比如下表所示：

表 5-11 职业教育分光比推荐

场景区域	PON 技术	ONU 类型	每 ONU 带宽	分光比
普通教室	XGS-PON	8 口 ONU	500Mbps	16
智慧教室	XGS-PON/50G-PON	16 口 ONU	1000Mbps	8
实训教室	XGS-PON	8/16 口 ONU	500Mbps	8/16
计算机教室	XGS-PON	24 口 ONU	1000Mbps	8
办公室	XGS-PON	8 口 ONU	500Mbps	16
会议室	XGS-PON	8 口 ONU	500Mbps	16
图书馆	XGS-PON	8 口 ONU	500Mbps	16
食堂	XGS-PON	8 口 ONU	500Mbps	16
宿舍	XGS-PON	4 口 ONU(带 Wi-Fi)	300Mbps	32
公共区域	XGS-PON	24 口 ONU	2000Mbps	4
平安校园	GPON	24 口 ONU	300Mbps	4

➤ 光功率预算计算：

F5G 全光校园的 ODN 需要满足网络端到端的全程光信道损耗要求。应根据 ODN 设计测算出 OLT 到 ONU 之间最大、最小链路衰减值，若测算结果超出标准范围，可重新审视分光比、线路路由设计等以调节光路衰减达到标准，或通过添加光路衰减器的方式调节光路衰减。

ONU 的接收光功率需满足光模块的过载光功率及接收灵敏度的区间要求，因此，在明确 ODN 方案之后需要按下面的公式对光路的衰减进行测算。

$$\text{全程光信道衰减} = L \times A_f + X \times A_r + N \times A_c + A_s + M_c$$

式中：

L——OLT 到单个 ONU 之间的各段光纤长度的总和（km）。

A_f ——设计中规定的光纤（不含接头）的衰减系数（dB/km）。

X——OLT 到单个 ONU 之间的所有光纤熔接接头总数（个）。

Ar——设计中规定的光纤熔接的平均衰减系数（dB）。

N——OLT 到单个 ONU 之间的所有光纤活动接头的总数（个）。

Ac——设计中规定的光纤活动接头的平均衰减系数（通常为 0.5 dB/个）。

As——OLT 到单个 ONU 之间的所有光分路器插入损耗的总和（dB）。

Mc——线路维护余量。

通常情况下，职业教育 F5G 全光网采用 2:32 的光分路器，且职业教育 F5G 全光校园覆盖范围在 5km 以内，光功率预算都可以满足要求。

➤ 光分路器的端口预留

为了考虑采购/施工简化，方便部署，在职业教育建设中，可尽量减少光分路器种类的选购，例如小于 16 分光的都可统一采购 2:16 的光分路器。2:16 的光分路器可当作 2:8 甚至 2:4 的光分路器使用。如 2:16 的光分路器当作 2:8 使用时，可只使用无源光分路器 16 个输出端口中的 8 个输出端口，另外 8 个输出端口空闲；

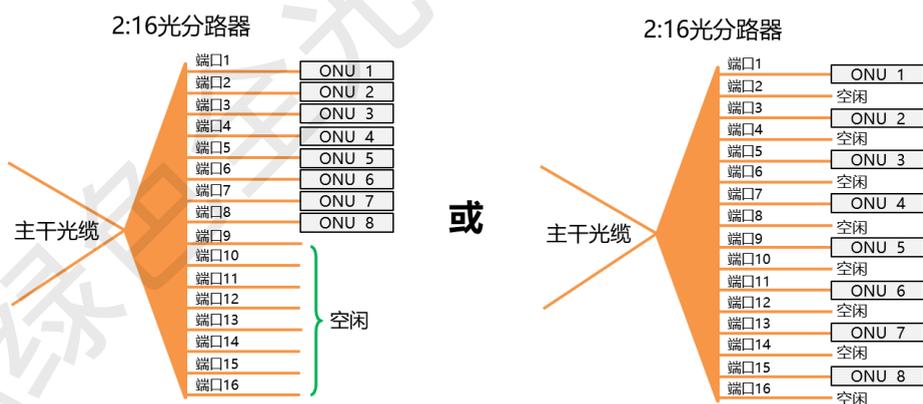


图 5-21 2:16 光分路器当作 2:8 使用

如 2:16 的光分路器当作 2:4 的光分路器使用时，只能使用无源光分路器的 4 个输出接口，剩余的 12 个输出接口空闲。

在教学楼中存在普通教室和公共区域 Wi-Fi 承载两种场景，普通教室采用

的 8 口 ONU，分光比是 2:16，公共区域 Wi-Fi 承载采用 24 口 ONU，分光比采用 2:4，可将 8 口 ONU 和 24 口 ONU 接到同一个 2:16 的光分路器下。由于 24 口 ONU 采用的分光比是 2:4，如果采用 2:4 的光分路器，每一台 ONU 占无源光分路器 4 个输出端口的 4 分之一（1 个端口）；如果采用 2:16 的光分路器，每一台 ONU 仍占 2:16 光分路器输出端口的 4 分之一（4 口端口），4 个端口中的一个接到 24 口 ONU 上，另外 3 个输出端口空闲；2:16 光分路器其他的 12 个输出端口可继续接 12 个 8 口 ONU。具体的使用方式如下图所示：

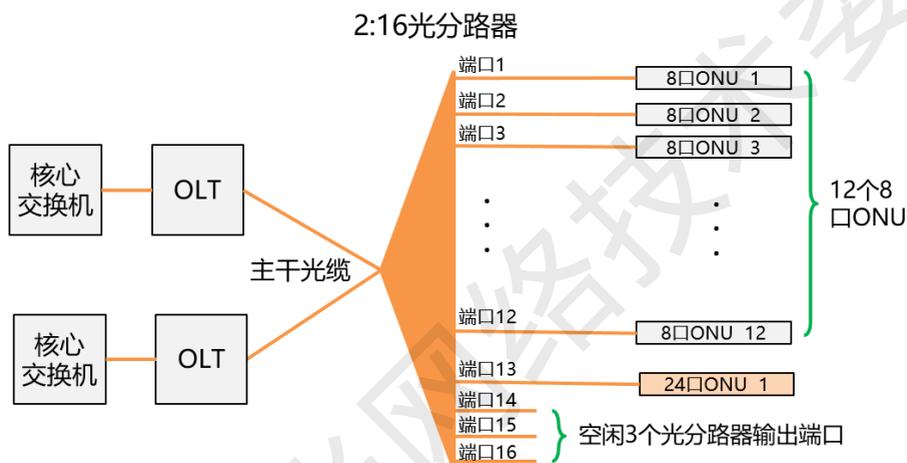


图 5-22 8 口 ONU 和 24 口 ONU 同接到一个光分路器下

上图中，教学楼的 2:16 光分路器共连接 12 个 8 口 ONU 和 1 个 24 口 ONU，这 13 个 ONU 可连接至 2:16 光分路器 16 个输出端口中的任意端口，接入的端口可混插。

5.3.3 光分路器部署位置

F5G 全光网存在一级分光和二级分光的 2 种部署方式。一级分光指的是在整个 PON 链路中，只有一个光分路器，只进行一次分光；而二级分光指的是在整个 PON 链路中，放置了两个光分路器，且光分路器放置在不同的物理位置，进行二次分光。从技术原理上看，职业教育 F5G 全光网可支持一级分光或者二

级分光，职业教育的 F5G 全光网建议采用一级分光的方式。

F5G 全光网的光分路器从部署位置区分，存在光分路器放置于建筑设备间，或者放置于楼层弱电间两种不同的部署方式。

由于光分路器部署在楼层弱电间的方式规划简单，可扩展性好，并且从施工习惯上看，和以前的网线的施工方式比较类似，可降低施工变更难度，所以 F5G 全光网的光分路器建议部署在每个楼层的楼层弱电间，替代原来楼层弱电间的接入交换机。

职业教育的光分路器宜部署在楼层弱电间，每楼层都部署光分路器，负责本楼层 ONU 的接入。

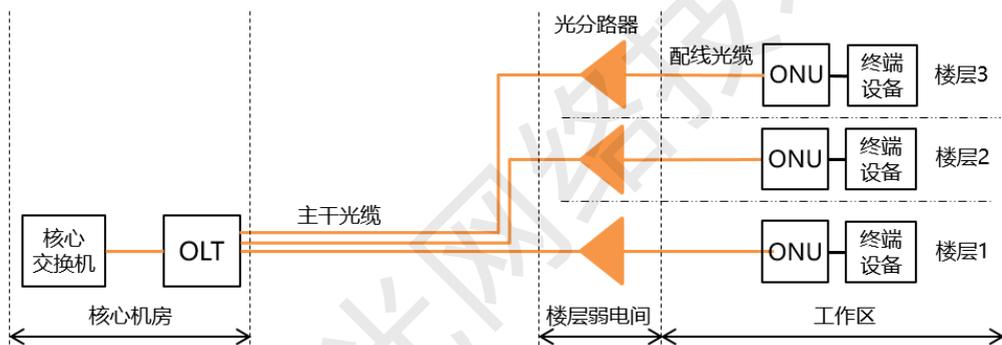


图 5-23 光分路器部署于楼层弱电间

若职业教育校园网的 ONU 数量较多，也可将光分路器部署于楼层弱电间，若某栋楼的 ONU 数量少（如每个楼层只放置 1~2 台 ONU 设备），也可考虑将光分路器部署在楼宇弱电间，只在楼宇弱电间部署光分路器，负责整个楼宇 ONU 的接入，在楼层弱电间不再部署光分路器。

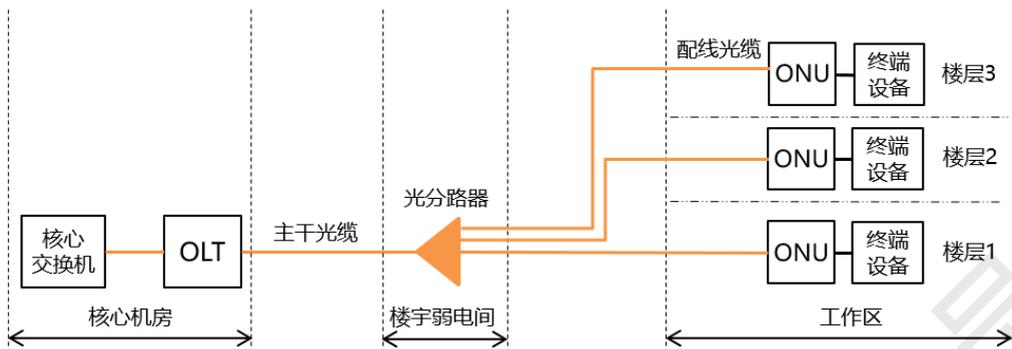


图 5-24 光分路器部署于楼宇弱电间

5.4 OLT 设备选择和部署

从 OLT 的 PON 端口数量及 OLT 的尺寸规模看,OLT 可以分为大规格 OLT, 中规格 OLT 和小规格 OLT, 选型时可根据 PON 端口数量及业务需求选择相应规格的 OLT, 另 OLT 选择需考虑预留未来用户量增长和业务增长的空间。

5.4.1 OLT 设备选择原则

根据所选用的不同 PON 技术选择不同的 OLT, 如选择支持 GPON 的 OLT, 或选择支持 XGS-PON 的 OLT 等。支持插卡式的大规格 OLT 和中规格 OLT 应支持 GPON 板卡和 XGS-PON 板卡的混插(即在同一台 OLT 机框中支持 GPON 板卡和 XGS-PON 板卡同时正常工作)。

F5G 全光网中, 应根据 ONU 的总数量, 结合选定的光分路器的分光比(如果考虑光分路器有预留, 需要考虑光分路器下实际带 ONU 的个数)进行计算, 计算出每台 OLT 下所需的 PON 端口数量。OLT 的 PON 端口总数可采用以下公式计算:

$$\text{PON 端口数量} = \text{ONU 总数} \div \text{分光比参数}$$

式中:

- (1) PON 端口数量：单台 OLT 或多台 OLT 所需的 PON 端口数量。
- (2) ONU 总数：整个 F5G 全光网中（或 OLT 覆盖范围内）所接入的 ONU 总数。
- (3) 分光比参数：根据业务带宽需求选择的分光比参数，如果是光分路器下满配 ONU，则分光比参数为分光比；如果分光比下不满配 ONU，则分光比参数为实际带 ONU 的个数。例如采用的是 2:16 光分路器，但是每个光分路器下只会接 8 个 ONU，那么这个分光比参数就按照 8 来计算。

OLT 需根据业务所需的可靠性需求进行选择，职业教育建议选择支持主控单板 1+1 备份的插卡式 OLT 设备。

F5G 全光网的 OLT 推荐采用双归属保护，所以需配置 2 台 OLT 设备，上述公式计算出的 PON 端口数量需乘以 2。

5.4.2 OLT 选型指南

从 OLT 的 PON 端口数量大小，OLT 可以分为大规格 OLT，中规格 OLT 和小规格 OLT 和单机版 OLT 设备。

大规格/中规格/小规格 OLT 设备均采用插卡式结构，也即 OLT 按需插入 PON 单板，实现容量的平滑扩容，也支持 GPON/XGS-PON/50G-PON 等 PON 单板的混插，以支持未来的平滑演进。

对于一些较小的独立建设的网络，也可采用单机版 OLT，单机版 OLT 通常为盒式结构，不支持 PON 单板的插拔和增加 PON 单板扩容。



图 5-25 常见 OLT 设备

可按需选择插卡式 OLT 或单机版的 OLT，OLT 种类划分如下表所示：

表 5-12 OLT 种类划分

OLT 类型	插卡式			单机版
	大规模	中规模	小规模	单机版
规格类型	大规模	中规模	小规模	单机版
双主控、双电源热备	支持	支持	支持	-
单台设备支持 GPON 端口数量(个)	≥200	≥96	≥32	≤16
单台设备支持 XGS-PON 端口数量(个)	≥200	≥96	≥32	≤16

5.4.3 OLT 设备部署位置

F5G 全光网中的 OLT 设备通常是 19 英寸宽，可安装于 19 英寸机柜中，如有需要也可选择采用 21 英寸的 OLT 设备，在 21 英寸机柜安装。

F5G 全光网中，OLT 部署可分为集中式部署和分布式部署。

(1) OLT 集中式部署是指 OLT 集中部署在 F5G 核心机房内。职业教育推荐采用 OLT 集中部署的方式，以减少管理节点，方便集中运维，可考虑将 OLT 部署于如综合楼的园区核心机房内，在其他的建筑物（如教学楼、行政楼、图书馆和食堂等）只放置光分路器（分光器），从综合楼的园区核心机房到教学楼/行政楼/图书馆/食堂等建筑物采用室外光缆连接。教学楼/行政楼/图书馆/食堂等建筑按需从室外光缆中取用本建筑所需的光纤数量。考虑到室外光缆的保护，室外光缆宜采用环形组网的方式进行部署，如果某段损坏（如不小心被挖断），

职业教育的 F5G 网络可自动触发倒换，不影响业务。

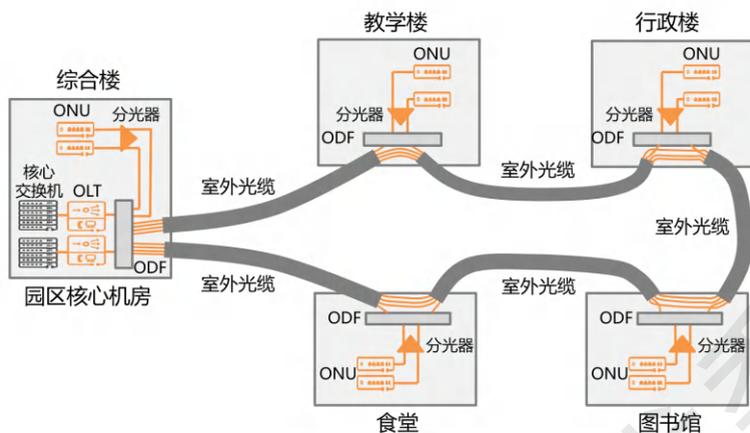


图 5-26 F5G 全光校园 OLT 集中部署方式

(2) OLT 分布式部署是指可将 OLT 分散在 F5G 全光校园的不同建筑内，实现部分建筑内信息节点的覆盖。在职业教育中通常不建议采用 OLT 分布式的模式，但在某些特别大型的宿舍楼建筑（某些宿舍楼每层约 50 个宿舍，有约 10~15 层），也可考虑将 OLT 部署于宿舍楼建筑内，通过 OLT 的上行接口接到核心机房的的核心交换机上，以减少室外光缆纤芯的占用。

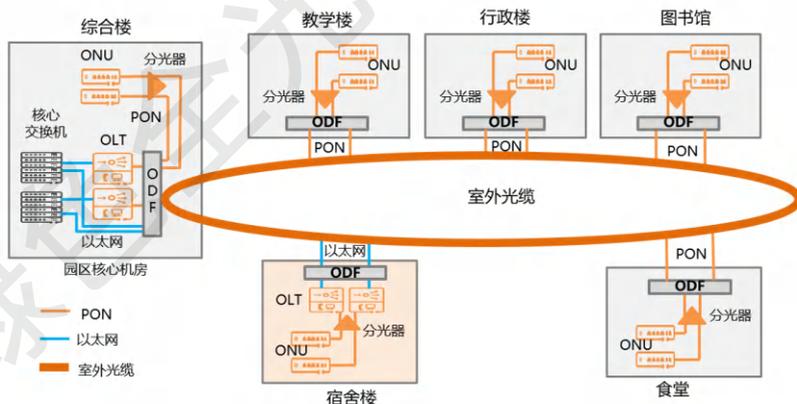


图 5-27 OLT 可下沉至大型宿舍楼部署

第六章

职业教育发展展望



6.1 职业教育是未来的战略方向

职业教育作为培养技术技能人才的重要途径，在全球经济转型和产业升级中扮演着关键角色，战略导向和政策支持是推动职业教育发展的核心动力。

国家已明确提出职业教育是与普通教育具有同等重要地位的教育类型，未来将继续推进职业教育与普通教育的协调发展，打破“重普教、轻职教”的传统观念，构建“纵向贯通、横向融通”的现代职业教育体系，为学生提供多元化的成长路径。

随着职业教育的不断发展和政策支持，社会对职业教育的认可度将逐步提升。未来职业教育成为与普通教育并驾齐驱的重要教育类型。而且随着职业教育质量的提升和产教融合的深化，职业院校毕业生的就业前景将更加广阔，特别是在技术技能型岗位上的竞争力将显著增强。

职业教育的发展紧密围绕国家重大战略需求，如“中国制造 2025”、“乡村振兴”、“一带一路”倡议等，培养高素质技术技能人才。职业教育与产业升级、科技创新深度融合，助力经济高质量发展。

各国政府将加大对职业教育的政策支持和资金投入，将会出台更多的激励政策，如税收优惠、补贴等，也将增加职业教育经费，改善教学设施。中国政府高度重视职业教育的发展，出台了一系列政策文件，如《国家职业教育改革实施方案》、《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》等，为高等职业教育的发展提供了强有力的支持。

6.2 职业教育的产教融合演进趋势

产教融合也是职业教育发展的核心策略之一，旨在通过教育与产业的深度融合，提升职业教育的质量和针对性，培养符合市场需求的高素质技术技能人才。

职业教育将更加注重与产业的深度融合，推动职业教育与产业需求的无缝对接。职业教育与产业需求紧密结合，通过教育内容、教学方式与产业实践的深度融合，实现教育与产业的协同发展。培养适应产业发展需求的高素质技术技能人才，推动职业教育与区域经济、行业企业的共同发展。

职业院校将实现专业设置与产业需求相对接，将根据区域经济和产业发展需求，动态调整专业设置，确保专业与产业需求相匹配；职业院校将实现课程内容与行业标准相对接，将行业/企业的技术标准、岗位要求等融入课程内容，确保学生所学知识与技能符合行业实际需求；职业院校将实现实践教学与生产实践相结合，将通过实训基地、企业实习等方式，强化学生的实践能力，提升其职业素养和岗位适应能力。

国家也在通过政策支持、资金投入等方式，推动产教融合的深入实施，如国家出台《建设产教融合型企业实施办法（试行）》，鼓励企业参与职业教育。

校企融合也是职业教育发展的重要途径，职业教育将更加贴近产业需求，职业院校与企业深度合作，共同参与人才培养的全过程，企业将更多地参与到职业教育的课程设计、教学实施和实习就业等人才培养过程，使得学生具备符合市场需求的技能。

职业院校与企业签订合作协议，明确双方在人才培养、资源共享、技术研发等方面的责任和业务，企业根据自身需求，与职业院校合作“订单班”，推行“订单式培养”，学生毕业后直接进入合作企业工作。

企业参与职业院校的课程设计，确保课程内容与行业需求紧密结合；企业与职业院校合作共建产业学院，共同开展人才培养、技术研发和社会服务；企业与职业院校共同建设实训基地，为学生提供真实的职业环境和实践机会，企业并且选派技术骨干担任学生的实践导师，指导学生的实习和项目实践。

职业教育将更加注重培养高素质技术技能人才，特别是适应新兴产业和数字化转型需求的人才，课程设置与行业标准对接，培养符合市场需要的技能型

人才。

未来将进一步深化产教融合机制，推动职业院校与行业企业的深度合作，并且利用大数据、人工智能等技术，推动职业教育的数字化转型，提升产教融合的效率 and 效果。

6.3 职业教育的数智化演进趋势

智慧职业教育的数智化演进是职业教育发展的重要趋势之一。随着信息技术的快速发展和产业结构的深刻变革，职业教育需通过数智化手段，提升教学质量，优化管理模式，增强学生就业竞争力。

数智化演进主要包括智慧校园建设、大数据驱动的教学管理、虚拟仿真与增强现实（VR/AR）技术、数字化资源共建共享等。

职业院校的智慧校园将会加快校园网络、数据中心、云计算平台等基础设施建设，将会采用光纤等新型基础设施进行建设，为数字化转型提供网络/硬件支持。职业院校通过智能教室、虚拟实现室、在线学习平台等，打造智慧化的教学环境，提升教学效率和学生学习体验。

智慧职业教育将会加快 AI 技术的使用，将会通过大数据技术，通过 AI 分析学生的学习行为、成绩表现等数据，为教师提供精准的教学反馈，帮助学生优化学习路径。职业院校还将利用大数据技术对教学过程进行实时监控和评估，提升教学质量和教学管理水平。

智慧职业教育还将加快虚拟仿真与增强现实（VR/AR）技术的使用，通过虚拟仿真技术，学生可以进行虚拟仿真实验，在虚拟环境中进行实验操作和技能训练，降低实训成本，提升实训效果。职业院校将利用 AR/VR 技术，将抽象的理论知识转化为直观的视觉体验，增强学生的学习兴趣和理解能力。

智慧职业院校还将加快数智化资源平台的建设，推动优质教学资源的共建

共享，并将通过大规模开发在线课程等形式，向社会开放职业教育资源，服务全民终身学习。

智慧职业教育将会采用人工智能（AI）辅助教学，将会利用 AI 技术开发智能教学系统，为学生提供个性化的学习建议和辅导，并通过 AI 技术对学生的学学习成果进行自动化评估，提供即时反馈，帮助教师优化教学策略；智慧职业院校将通过 AI 技术优化校园管理，包括智能考勤、智能安防、智能后勤等，提升管理效率；智慧职业教育还将采用区块链技术建立学历证书和职业技能证书的数字化认证体系，提升证书的可信度和流通性，并通过区块链技术记录学生的学习经历和技能培训成果，为学生的终身学习提供数据支持。智慧职业教育也将引入智能机器人、智能生产线等设备，为学生提供真实的智能化实训环境，并利用 AI 技术开发技能培训平台，为学生提供个性化的技能训练方案。

6.4 职业教育的区域均衡与国际化趋势

职业教育的区域均衡发展与国际化的推动职业教育高质量发展的重要战略方向。区域均衡发展旨在缩小区域间职业教育发展的差距，促进教育公平；国际化则是提升中国职业教育的全球竞争力，推动职业教育与国际接轨。

中国区域经济发展不平衡，导致职业教育资源分布不均，东部地区职业教育发展水平较高，而中西部地区相对滞后。推动职业教育的区域均衡发展有助于缩小区域间教育差距，促进教育公平。同时为区域经济发展提供人才支撑。

国家将通过政策倾斜和专项资金支持，加大对中西部地区和农村地区职业教育的投入，改善办学条件，并推动东部地区职业院校与中西部地区职业院校的对口支援与合作，通过资源共享、师资交流等方式，提升中西部地区职业教育的办学水平。未来还将推动职业教育与乡村振兴相结合，在乡村振兴战略背景下，职业教育将更加注重服务农村地区，培养适应农业农村现代化需求的技

术技能人才，并且通过建设数字化教育资源平台，推动优质职业教育资源的区域共享，缩小区域间教育差距。

随着经济全球化和“一带一路”倡议的推进，中国职业教育需要和国际接轨，提升国际竞争力。职业教育的国际化有助于引进国际优质教育资源，提升中国职业教育的办学水平，同时为中国企业“走出去”培养国际化技术技能人才。

智慧职业院校将通过合作办学、课程引进等方式，引进国际优质教育资源，引进国际先进的职业教育理论、课程体系和教学模式；在引进过程中，职业院校将推动职业教育标准国际化，通过制定并推动中国职业教育的国际标准，提升中国职业教育的国际影响力。

国际化未来的方向为支持一批高水平职业院校建设国际化职业院校，提升其国际竞争力；通过海外办学、技术培训等方式，推动中国职业教育“走出去”，服务中国企业国际化的发展；通过与国际职业教育研究机构的合作，开展职业教育比较研究，提升中国职业教育的理论水平和实践能力。

区域均衡发展与国际化的结合，将为中国经济社会发展提供坚实的人才支撑，助力实现制造强国、技能强国的目标。

中国职业教育在未来将继续保持快速发展的态势，在政策支持、产教融合、数智化演进、区域均衡发展与国际化的方面将成为推动职业教育高质量发展的关键因素。随着社会对职业教育认可度的提升，职业教育将在国家经济社会发展中发挥更加重要的作用。

6.5 F5G 全光网在职业教育的应用前景

在数字技术飞速发展的今天，F5G 全光网络作为新型全光网络技术，正以其高带宽、简架构、智运维、绿色低碳、易演进等优势，为职业教育带来前所未

有的变革机遇。展望未来，F5G 全光网络在职业教育领域的应用前景十分广阔。

F5G 全光网络的高带宽能支持大量数据的快速传输，推动虚拟现实（VR）、增强现实（AR）和混合现实（MR）技术在职业教育实践教学中的广泛应用。例如在机械制造专业中，学生可借助 VR 设备，在虚拟环境中进行复杂的机床操作训练；在护理专业教学里，利用 AR 技术将人体解剖结构等虚拟信息叠加到现实场景，让学生更直观地学习人体构造和护理操作。

凭借 F5G 全光网络的简架构特性降低时延，不同地区的职业院校师生能实现实时高清互动。发达地区的优秀教师可以通过远程教学，为偏远地区职业院校的学生授课，分享先进的知识和实践经验。同时，跨校的学生团队也能通过远程协同平台，共同完成项目作业和实践任务，培养团队协作和沟通能力。

F5G 全光网络连接的智能学习系统可根据学生学习数据，利用大数据和人工智能技术为学生定制个性化学习路径。例如，系统发现学生在编程课程中某一知识点掌握困难，就会推送针对性学习资料，并安排辅导老师进行线上实时答疑。

企业工程师可通过 F5G 全光网络实时接入职业院校的课堂和实训教学，为学生传授实际工作中的技能和经验。同时，学校教师也能随时了解企业的技术需求和生产动态，及时调整教学内容。例如在电子信息专业，企业工程师通过远程直播的方式，指导学生进行新产品的电路设计和调试。

借助 F5G 全光网络，职业院校和企业可以共建虚拟仿真实训基地，实现实训资源的共享。学生无需到企业现场，就能通过虚拟平台进行企业真实项目的实训操作。例如，汽车制造企业与职业院校合作，利用 F5G 全光网络搭建汽车装配虚拟实训平台，让学生在校园内就能体验汽车生产的全流程。

F5G 全光网络能使职业院校及时获取产业动态和人才需求信息，快速调整专业设置和课程体系。例如当人工智能产业对图像识别技术人才需求增加时，学校可迅速开设相关课程，并与企业合作开展项目实训，培养出符合产业需求

的专业人才。

F5G 全光网络打破了教育资源的地域限制，使发达地区职业院校的优质课程、教学案例、实训资源等能快速传输到偏远地区。偏远地区的学生也能享受到与城市学生同等质量的教育资源，缩小城乡、区域之间的职业教育差距。

F5G 全光网络可将校园内的智能门禁、智能图书馆、智能实验室、智能安防系统等设施连接成一个有机整体。学生通过校园卡或手机就能便捷地开启门禁、借阅图书、预约实验室设备。智能安防系统借助 F5G 全光网络能实现实时高清监控和智能预警，保障校园安全。

智慧职业教育的发展演进，未来都离不开 F5G 全光网等新型基础设施的支撑，智慧职业教育将往光纤化、智能化和绿色化等方向持续演进。

STATEMENT

声明

本白皮书著作权属于中国电子节能技术协会绿色全光网络技术委员会（ONA）所有。转载、摘编或以其他方式使用本设计说明的全部或部分内容的，应注明来源，违反上述声明者，著作权方将追究其相关法律责任。

绿色全光网络技术委员会 ONA

ONA 于 2019 年 10 月 22 日成立，中文名称中国电子节能技术协会绿色全光网络技术委员会，旨在搭建全光网络产业的沟通协同平台，繁荣产业生态、消除产业瓶颈、推动行业标准落地、推广行业示范应用、培育产业人才，打造无处不在的光联接（OPTICAL NETWORK ANYWHERE），做大全光网络产业空间，推动产业快速、健康、持续发展。ONA 成立后获得产业上下游生态伙伴大力支持，产业头部企业、顶级设计院、优质集成商及典型行业客户纷纷加盟，目前价值会员超过 200 家。ONA 推动《无源光局域网工程技术标准》、《智慧医院无源光局域网工程技术规程》等 10 个标准发布，推动将无源光局域网首次纳入国家标准设计图集，参与 20+国家/行业/团体标准制定；发布《F5G 全光园区技术应用白皮书》、《智慧医院 F5G 全光网应用产业白皮书》、《智慧医院 F5G 全光网设计指南》、《智慧教育 F5G 全光网设计指南》、《F5G 全光网络精品案例集》等多项产业成果，打造 24 家全光网络示范点，快速提升了 F5G 全光网络产业影响力。

新时代、新发展、新网络，ONA 积极推动 F5G 普及，推进 F5G-A 绿色万兆全光园区启航，携手产业力量为政府、企业数字化转型和高质量发展做出贡献！

ONA 官网：www.onalliance.org



中国电子节能技术协会
绿色全光网络技术委员会



ONA

