

超大型商业综合体全光网络应用研究

林俊睿

(深圳市星火电子工程公司)

【摘要】作为南山科技创新中心（留仙洞六街坊）项目的设计负责人，文章从设计团队的视角，分享全光网络（GPON/10GPON）在超大型商业综合体中的应用实践。结合项目103万m²建筑规模、多业态功能布局及分地块平行施工特点，围绕架构简化、带宽演进、智能运维、安全可靠四大设计目标，详述技术选型逻辑、方案落地路径及实测效果。通过对比传统网络架构的设计缺陷，论证全光网络在满足多元业务需求、控制建设成本、适配长期运营等方面的设计优势，为同类项目提供可借鉴的设计范式。

【关键词】GPON；10GPON；全光网络；商业综合体；设计实践

中图分类号：TN929.1

DOI：10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.106

Research on Application of All-optical Network in Super-large Commercial Complexes

LIN Jun-rui

(Shenzhen Xinghuo Electronic Engineering Co., Ltd.)

【Abstract】As the design director of Nanshan Science and Technology Innovation Center (Liuxiandong Sixth Neighborhood) project, this paper shares the application practice of all-optical network (GPON/10GPON) in super-large commercial complex from the perspective of the design team. Combined with the construction scale of 1.03 million square meters, multi-format functional layout and parallel construction characteristics on different plots of the project, focusing on the four design objectives of architecture simplification, bandwidth evolution, intelligent operation and maintenance, safety and reliability, it elaborates on the technical selection logic, the implementation path of the solution and the actual measurement effect. By comparing the design defects of traditional network architecture, this paper demonstrates the design advantages of all-optical network in meeting multiple business needs, controlling construction costs and adapting to long-term operation, which provides a referenceable design paradigm for similar projects.

【Keywords】GPON; 10GPON; all-optical network; commercial complex; design practice

1 引言

全光网络技术已从早期窄带PON系统演进至GPON主流阶段，凭借“一次部署、多代兼容”特性，带宽跃升至10Gbps级。通过无源光分路设计简化网络层级，能适配4K视频、人工智能等新兴业务需求，成为超大型建筑网络的成熟解决方案。其中10Gbps无源光网络技术遵循ITU-TG.9804.1规范。

南山科技创新中心(103万m²)涵盖7栋差异化建筑及地下三层空间，业态涉及生物医药、人工智能等，项目分两个地块平行施工，一期包含1、2、4、5、6栋，二期包含3、7栋。设计中，以GPON构建“全园一张光网”，解决传统以太网痛点：50余个汇聚节点占用机房超300m²、铜缆无法支撑10Gbps并发、分布式管理与多消控室协同冲突、8年网线寿命不匹配20a运营周期。本文阐述这一设计实践的技术细节与成效。

2 设计背景与技术选型

2.1 项目设计需求解析

从设计维度梳理关键指标，均需符合《智能建筑设计标准》(GB 50314-2022)中的相关规范要求。

①空间约束：地下室因通管局规定分区需设置电信接入机房而导致园区内所需的布线机房面积紧张，传统方案需超800m²的汇聚机房，远超目前建筑规划机房的上限。②业务差异：5栋生物医药研发需网络高可靠性，7栋人工智能训练要求10Gbps并发带宽。③分期要求：一期(1/2/4/5/6栋)与二期(3/7栋)为平行施工的两个地块，网络架构需统一标准，实现跨地块协同运营。④运维标准：园区后续正常运营后需支撑10万级前端物联网设备的接入量，及物业对各楼栋业主的线上保修需求。

2.2 传统架构的设计缺陷

在方案比选中,传统架构暴露三大设计短板,与《大型商业综合体智能化系统设计导则》中的建议存在明显差距(见图1)。

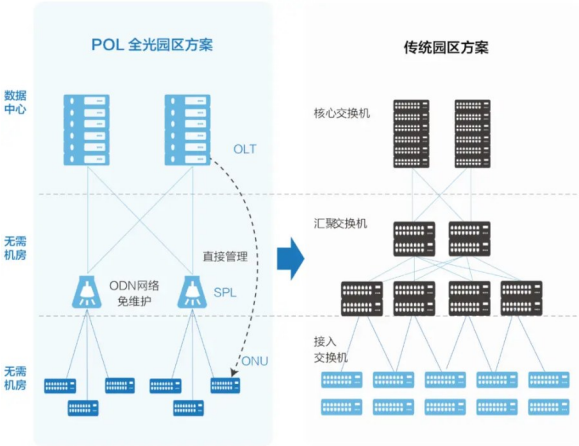


图1 传统结构化布线与新型PON工程布线对比图

- ①空间利用率低:传统方案设计需800㎡汇聚机房,而建筑设计可用空间仅460㎡(1栋消控室119㎡、5栋115㎡、3栋室112㎡、7栋114㎡),缺口显著。
- ②带宽瓶颈明显:铜缆链路设计寿命仅8a,无法满足项目20a运营周期的带宽增长需求。
- ③运维协同困难:分区域部署的接入交换机需专人现场配置,与多消控室协同设计理念冲突。

2.3 全光网络的设计适配性

基于上述分析,全光网络成为最优解,其架构设计参考了华为技术有限公司《GPON网络规划与设计指南》中的建议模型。①架构优势:ONU—OLT—核心路由的两层设计可节省60%机房空间。②技术特性:光纤30a使用寿命适配项目全生命周期,10GPON带宽满足远期业务增长。③运维协同性:OLT集中管理架构可实现多消控室跨区域协同运维,符合分布式管理场景下的集中管控需求。

3 设计方案与实施路径

3.1 架构简化设计:从三层到两层的突破

将传统“接入—汇聚—核心”架构压缩为“终端—ONU—OLT—核心”两级传输,该设计思路符合《智能建筑设计标准》中关于大型建筑网络架构简化的要求。①跨楼层部署:采用楼栋内每3层~4层集中设置1台ONU的分层汇聚模式,通过主干光缆连接该区域监控摄像头、门禁等前端设备,相比每层单独

部署设备减少60%光缆布放长度,单栋建筑节省约500m光缆及配套管材成本。②机房布局:一期在1、5栋设置消控室、二期在3、7栋设置消控室,部署双路OLT,采用最小化投资原则保障消控室机柜内双链路冗余,两地块OLT通过10GE链路互联后直连核心路由。③跨地块协同:两地块OLT采用相同型号设备,端口预留20%冗余,确保业务数据跨地块无缝交互。

3.2 带宽演进设计:光纤路由的前瞻性布局

3.2.1 传输介质选型

经多渠道资料验证及实际工程案例分析,对比三种布线方案后确定选型标准,参考《GPON网络规划与设计指南》及相关行业权威数据如表1所示。

表1 三种布线方案的选型标准对比

介质类型	设计寿命/a	最大带宽	施工成本
超五类铜缆	8	理论上主要用于百兆网络,良好环境及设备支持下可稳定支持1Gbps	低
OM3多模光纤	15	在850nm传输窗口满溢带宽1500MHzkm,等效带宽2000MHzkm,可支持10GBase-SR至300m	中
单模光纤	30	理论带宽无上限,实际应用中可轻松满足100Gb - ps及以上传输需求	高

最终选用普通单模光纤,虽初期成本增加20%,但凭借其稳定的物理特性可避免10a内二次布线,从项目全生命周期核算,节省了后期因线路更换、系统升级带来的综合成本。

3.2.2 设备端口配置

设计时预留带宽升级通道,符合10Gbps无源光网络技术规范中的扩展要求:①机房中10GPON作为外线接入的端口(满足当前需求),剩余20%的GPON端口支持后期换版平滑升级;②7栋消控室设计为园区后续运维,预留园区人工智能运维业务上线条件,采用“10G PON+光纤直连”混合设计,核心节点预留扩展空间。

3.3 智能运维设计:多消控室协同体系

从设计层面构建三级运维体系,符合《大型商业综合体智能化系统设计导则》中的运维管理架构建议。①设置超500㎡的智能运营指挥中心,实时监控

全国 689 台 ONU 运行状态及 7310 个前端点位,承担统一的园区管理运营决策调度作战中心职能。②1/5/7/3 栋分消控室设置子节点,其中 1 栋消控室管 1469 个前端点位,接入层 272 台 ONU;5 栋机房管 1607 个前端点位,接入层 52 台 ONU;3 栋机房管 2145 个前端点位,接入层 87 台 ONU;7 栋机房管 2089 个前端点位,接入层 83 台 ONU,各子节点权限聚焦本区域智能化专用网络。③移动端 APP 集成故障派单功能,与设计的 30min 响应机制联动。

3.4 安全可靠设计:多重保护机制

作为设计重点,构建三维防护体系,遵循《智能建筑设计标准》中的安全可靠要求。

①设备级:OLT 主控板 1+1 热备,电源模块冗余设计,单点故障不影响业务。

②环境级:光纤路由避开地下车库充电桩等强电磁区,潮湿区域采用 IP67 防护等级的光连接器。

4 设计成果与实测验证

4.1 架构简化效果

两地块建成后实测,各项指标均符合相关设计标准。

①一期 1 栋机房面积实际占用 119m²,5 栋机房面积实际占用 115m²;二期 3 栋机房面积实际占用 112m²,7 栋机房面积实际占用 114m²,4 个消控室机房合计 460,在建筑设计可用空间内精准部署,较传统方案(800m²)节省 42.5%。

②经测算,全光网络架构下,7310 个前端点位(前端设备功耗为 5W)和 689 台 ONU(每台设计功耗 15W)月均能耗为 12322kWh;传统以太网三层交换机架构中,7310 个前端点位换为前端交换机(每台功耗为 20W),加上 200 台接入层交换机(每台功耗 30W),月均能耗为 21820kWh,全光网络方案能耗降低 43.5%,符合绿色建筑设计标准;由此全年可节省电能约 114000kWh,相当于减少标准煤消耗约 34.4t。

③两地块 ONU 设备型号统一,跨地块业务交互无兼容性问题,数据传输时延<5ms。

4.2 业务承载能力

从设计维度验证,10GPON 端口性能可满足技术规范要求。①7 栋人工智能区域:按设计容量,20 台服务器同时接入时,带宽可稳定在 9.3Gbps 以上,理论时延<2ms。②4 栋商业区域:户外设置的三处

大型小间距 LED 4K 屏并发播放场景下,设计丢包率可控制在 0.003% 以内,符合业务承载指标。

4.3 运维效率提升

设计指标符合《大型商业综合体智能化系统设计导则》中的运维效率标准。①物联设备网络故障平均修复时间 18min(设计目标≤30min);②人均维护端口数从传统设计的 2000 个提升至 16000 个;③分消控室与主消控室的数据同步延迟<10s。

5 设计反思与优化方向

5.1 实施过程中的设计调整

两处关键优化值得关注,优化依据参考《GPON 网络规划与设计指南》中的工程实践建议。①3 栋超高层设计:原方案采用垂直布线,实测发现 250m 链路衰减超标,改为楼层 OLT 级联后达标。②地下三层部署:针对地下室闷热潮湿环境,光连接器防护等级从 IP65 升级至 IP67,故障率下降 80%。

5.2 未来设计迭代方向

根据《智能建筑设计标准》规划未来的三个升级路径,符合未来智能建筑网络发展趋势。

①引入 AI 流量调度:在 7 栋试点 OLT 智能带宽分配,预计降低 15% 冗余带宽。

②边缘计算融合:在地下商业层部署边缘 OLT,将支付系统响应时间从 50ms 降至 10ms。

③预制化光链路:后续工程验证工厂预制光缆组件在数据机房中应用,现场施工效率提升 40%。

6 结语

从设计实践来看,全光网络在本项目实现了三个突破,各项成果均符合相关标准规范。

①空间设计优化:通过架构简化将机房面积控制在设计上限内,光纤布线节省 50% 管线空间。

②全周期适配:单模光纤+10GPON 设计满足 20a 带宽增长需求,跨地块扩展成本降低 30%。

③运维协同创新:集中管理平台与多消控室设计无缝衔接,关键系统响应达标率 100%。

这一设计实践证明,全光网络不仅是技术升级,更是超大型商业综合体网络设计的范式革新——它将建筑空间约束、业务动态变化、运营长期需求纳入统一设计框架,为同类项目提供了可复制的解决方案。