



fgOTN 部署方案策略研究

李鑫, 贺政, 高志英, 习建华, 黄乐天, 李德莉
(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100032)

摘要: 随着 5G+垂直行业、高品质政企专线及智算中心互联需求的爆发, 传统 OTN 在承载 1 Gbit/s 以下小颗粒业务时面临效率低、资源浪费等问题。细颗粒光传送网 (fgOTN) 作为 OTN 的演进技术, 凭借 10 Mbit/s 细粒度时隙、硬隔离、低时延等特性, 成为承接小颗粒业务的核心方案。结合 fgOTN 技术特性与现网实际, 从目标网架构设计、分阶段演进策略、多场景部署方案、关键保障机制 4 个维度, 提出一套兼顾投资保护与业务需求的网络部署策略, 为运营商及行业用户提供实践参考。

关键词: fgOTN; 网络部署; 演进策略; 小颗粒业务; 硬隔离

中图分类号: TN915

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025299

0 引言

在“东数西算”国家战略纵深推进与 5G 向垂直行业渗透的双重驱动下, 政企专线、智算中心互联、电力继保等关键场景对 2 Mbit/s~1 Gbit/s 的小颗粒业务承载需求呈现爆发式增长, 且这类业务普遍对网络的硬隔离、低时延、高可靠性提出严苛要求。

从当前网络技术现状来看, 传统 OTN 以 ODU0 为最小调度颗粒, 在承载 1 Gbit/s 以下小颗粒业务时, 带宽利用率较低。细颗粒光传送网 (fgOTN) 作为国家 ITU-T G.709.20 标准定义的 OTN 演进技术, 为解决小颗粒业务承载痛点提供了核心方案。

fgOTN 通过三大核心技术创新实现小颗粒业务的高效承载: 一是优化帧结构设计, 采用细粒度灵活光通道数据单元 fgODUflex 帧结构, 插入

新的操作、管理和维护 OAM 开销, 提升业务监控与维护能力; 二是创新时钟透传机制, 采用相位差累积技术, 无须依赖全网节点时钟同步即可实现恒定比特速率 CBR 业务的高精度时钟透传; 三是简化无损带宽调整机制, 基于类 G.HAO 机制, 实现百毫秒级的带宽动态调整。

fgOTN 在 OTN 体系框架下针对小颗粒业务场景的扩展与优化, 其核心价值在于继承 OTN 的高可靠性与 SDH 的硬隔离特性, 弥补两者在小颗粒业务承载效率上的短板, 可构建适配高性能传送需求的统一光网络架构。

1 fgOTN 目标网络架构设计

fgOTN 的网络部署需要在兼容现有 OTN 资源的基础上, 平衡业务需求与投资保护, 核心遵循“骨干层不动、城域层升级、接入层延伸”的分层原则, 构建既能实现小颗粒业务端到端调度,



又能与现有网络无缝协同的目标架构，为后续技术演进与业务扩展预留灵活空间。

1.1 骨干层

维持大颗粒调度，最大化兼容存量投资。骨干层作为长距离大带宽业务传输的核心载体，当前主要承载 10 Gbit/s 及以上大颗粒业务，如跨地域政企专线、智算中心互联骨干链路，其设备配置与网络架构已历经长期验证趋于稳定。

从技术适配性与投资保护角度出发，骨干层无须启动 fgOTN 功能改造，仍沿用传统光通道数据单元 ODUk 进行大颗粒业务交叉调度，仅通过“fgOTN+ODUk 穿通”模式实现与城域层小颗粒业务的衔接，城域层汇聚的 fgOTN 小颗粒业务，在对接骨干层的节点处封装为 ODUk 信号后进入骨干网传输，到达目标区域后再解封装为 fgOTN 信号分发至城域层。

这种部署方式可完全复用骨干层现有 OTN 设备、波道与运维体系，避免大规模改造带来的成本浪费与业务中断风险，同时保障跨区域业务传输的连续性。

1.2 核心汇聚层

全层级升级 fgOTN，构建灵活调度。核心汇聚层是小颗粒业务的集中调度枢纽，需要覆盖核心节点、重要汇聚节点、普通汇聚节点三个层级，全面部署 fgOTN 交叉能力，形成“小颗粒本地调度+大颗粒对接骨干”的混合架构，适配政企专线、园区互联等场景的多样化需求。

城域核心节点承担跨汇聚环 fgOTN 业务调度与骨干层衔接双重职能。一方面，需要支持 fgODUflex 与 ODUk 的灵活转换，将不同汇聚环的小颗粒业务集中调度，同时将跨域业务封装为 ODUk 对接骨干层；另一方面，核心节点需要配置级联 fgOTN 子网连接保护 SNCP，在对接骨干的关键链路设置保护点，应对链路故障对跨域业务的影响。

重要汇聚节点作为城域层与接入层的分界

点，核心功能是整合接入层上传的零散小颗粒业务，通过 fgOTN 交叉矩阵实现业务汇聚与分发，同时具备 10 Mbit/s 粒度的无损带宽调整能力，可根据业务需求动态扩展带宽；此外，重要汇聚节点需要与城域核心节点建立双归属连接，避免单链路故障导致的业务中断。

普通汇聚节点直接对接接入层设备，聚焦小颗粒业务的接入与初步汇聚，需要支持 E1、STM-1、FE/GE 等多类型客户接口，将客户业务映射为 fgODUflex 信号后上传至重要汇聚节点；考虑中小微企业、社区政务等场景的业务分散性，普通汇聚节点可采用环形组网设计，通过 fgOTN SNCP 实现接入链路 50 ms 内倒换，满足基本可靠性需求。

1.3 接入层

延伸 fgOTN 至 CPE，打通业务接入“最后一公里”。接入层作为 fgOTN 与客户业务的衔接层，需要通过 fgOTN 实现业务就近接入，构建“客户侧—汇聚侧”端到端 fgOTN 承载链路。接入层 CPE 须具备两大核心能力：一是多接口适配能力，支持 E1、FE、GE、STM-1 等接口，可直接对接企业路由器、电力继保装置、政务终端等设备，将不同类型业务统一映射为 fgODUflex 信号；二是高效上联能力，通过 OTUk 接口上联至普通汇聚节点，大幅提升接入带宽利用率。

1.4 分级保护方案

适配场景差异，保障业务可靠传输。针对不同行业、不同等级业务的可靠性需求，fgOTN 目标网需要构建分级保护体系，结合电力、政务等行业实践，保护方案可分为以下几个方面。

跨省/跨地市专线保护采用“分段保护+ODUk 穿通保护”组合策略，城域内核心节点、骨干对接节点设置 fgOTN SNCP 分段保护点，保障城域段小颗粒业务可靠性；干线段沿用 ODUk 1+1 保护，确保跨域传输稳定性。本地市专线保护聚焦城域内业务，接入汇聚节点、普通汇聚节

点设置 fgOTN SNCP 保护点, 通过时隙共享提升资源利用率。设备级保护方面, 核心与汇聚节点配置 fgOTN 交叉板 1+1 主备、电源冗余, 避免硬件单点故障; 接入层 CPE 支持支路板卡热插拔, 可在不中断业务的情况下完成板卡更换, 降低运维对客户业务的影响。

2 fgOTN 分阶段演进策略

fgOTN 演进需要充分考虑现网中 SDH、VC-OTN 设备存量, 结合 fgOTN 产业成熟度与业务需求紧迫性, 采用“平滑过渡、分步替代”的核心策略, 通过试点验证、规模推广、全网成熟 3 个阶段, 逐步实现 fgOTN 对小颗粒业务承载的全面覆盖, 在保护现有投资的同时, 确保技术演进与业务需求的协同适配。fgOTN 演进示意图如图 1 所示。

2.1 阶段一: VC-OTN 与 fgOTN 混合组网

本阶段以“技术验证、风险可控”为核心目标, 聚焦 fgOTN 在典型场景中的可行性验证, 同步承接新增小颗粒业务, 为后续规模部署积累实践经验。从业务需求与网络价值角度出发, 试点范围优先选择政务、金融密集区域的城域接入层

与普通汇聚节点。部署内容以 fgOTN 与汇聚设备为主, 通过局部组网实现“接入层-普通汇聚节点”的小颗粒业务承载链路。

在业务策略上, 本阶段遵循“存量不变、新增用新”原则: 存量 SDH/VC-OTN 业务维持现有承载模式, 避免技术过渡对在网业务造成影响; 新增 10 Mbit/s~1 Gbit/s 专线业务全部采用 fgOTN 开通, 通过实际业务运行验证 fgOTN 的映射复用、时钟透传等核心功能。

设备层面则以“利旧升级”为主, 现有 VC-OTN 设备通过更换 fgOTN 交叉板、升级软件即可具备 fgOTN 功能, 无须整体替换设备; 线路板卡可直接复用, 仅须新增支持 E1/GE 接口的 fgOTN 支路板, 降低试点阶段的硬件投资成本, 同时缩短设备部署周期。

2.2 阶段二: fgOTN 规模部署

经过试点期的验证, fgOTN 技术成熟度与设备稳定性得到保障, 本阶段进入规模推广阶段, 核心目标是实现城域层 fgOTN 全覆盖, 启动 SDH 业务迁移, 逐步减少对传统技术的依赖。部署范围从试点区域扩展至全网城域网络, 城域核心节点、重要汇聚节点全面升级 fgOTN 交叉能力, 支

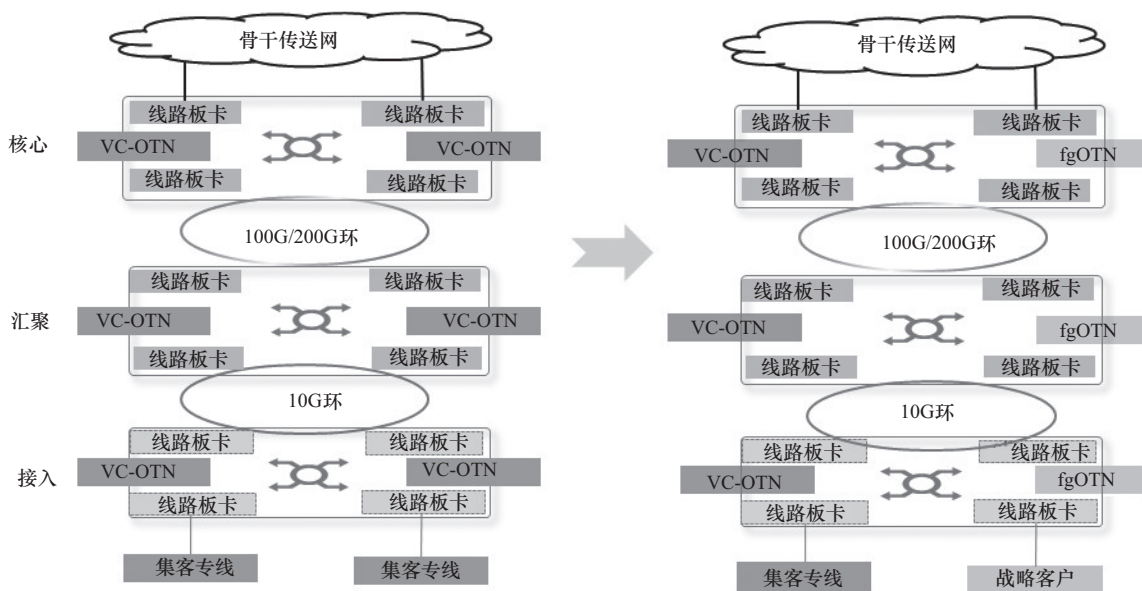


图1 fgOTN 演进示意图



持 fgODUflex 与 ODUk 的灵活转换, 实现“小颗粒调度+大颗粒对接骨干”的混合架构; 接入层则延伸至重点产业园区、商务楼宇, 通过批量部署 fgOTN, 扩大小颗粒业务接入覆盖范围, 满足中小微企业、智慧社区等场景的多样化需求。

重点针对 SDH 承载的小颗粒业务, 在 SDH 设备侧部署 fgOTN CPE, 将 SDH VC-n 业务透明映射为 fgODUflex 信号, 再通过 fgOTN 汇聚节点上传至城域核心网络, 确保迁移过程中业务不中断。同时, 为实现 SDH 与 fgOTN 的无缝协同, 在对接节点部署 VC over fgOTN 功能, 通过协议转换实现两类技术体系的业务互通, 为 SDH 设备的逐步退网创造条件; VC-OTN 则仅保留大颗粒业务承载功能, 待后续逐步过渡至 fgOTN+ODUk 架构。

2.3 阶段三: 全网 fgOTN

本阶段实现 fgOTN 技术的全网落地, 核心目标是构建“fgOTN+ODUk”统一光传送网架构, 完成小颗粒业务的端到端承载升级。部署范围覆盖接入层、城域层、干线对接点: 接入层与城域层实现 fgOTN 全节点覆盖, 支持 2 Mbit/s~1 Gbit/s 小颗粒业务的灵活调度; 干线对接点通过 fgOTN 与骨干层 ODUk 的衔接, 实现“城域小颗粒-骨干大颗粒”的跨层级业务传输; 干线层仍维持 ODUk 大颗粒调度, 确保长距离、高带宽业务的传输效率, 形成“小颗粒精细承载、大颗粒高效传输”的分层协同架构。

业务承载上, 2 Mbit/s~1 Gbit/s 小颗粒业务通过 fgOTN 承载, 利用 10 Mbit/s 细粒度时隙提升带宽利用率; 10 Gbit/s 及以上大颗粒业务, 沿用 ODUk 承载, 充分发挥两类技术的优势。

运维层面则构建统一网管平台, 实现 fgOTN 业务的自动开通、实时时延监测与故障定位, 支持“业务-设备-链路”的端到端可视化管理, 同时, 通过 AI 算法实现带宽动态调整、故障智能预测, 大幅简化运维复杂度, 降低网络运营成本,

完成从“多技术并存”到“统一架构”的演进, 为 5G 垂直行业、算力网络等新兴业务提供高效、可靠的传输底座。

3 多场景 fgOTN 部署方案

fgOTN 的技术特性使其能够适配不同行业场景的差异化需求, 针对电力、政务、智算中心等小颗粒业务需求集中且对网络性能要求严苛的典型场景, 需要结合业务特性设计定制化部署方案, 在保障业务可靠性、安全性的同时, 最大化发挥 fgOTN 的技术优势。

3.1 电力行业

电力通信网承担着生产控制与管理信息两类核心业务的传输任务, 其中生产控制类业务以 2 Mbit/s E1 信号为主, 对时延、可靠性要求极高; 管理信息类业务则以 10~100 Mbit/s 以太网信号为主, 需要与生产业务严格隔离。

fgOTN 部署需围绕“业务隔离、低时延、高可靠”三大核心需求, 构建适配电力系统的专用承载架构。在组网方案设计上, 采用“分层接入、业务隔离”架构, 一方面通过 E1 接口接入生产信号, 另一方面通过 GE 接口接入视频监控、动环终端的管理信号, 通过 10 Mbit/s 时隙划分实现物理隔离, 避免两类业务相互干扰。

3.2 政务行业

政务专线业务涵盖政务云互联、跨部门数据共享、应急指挥通信等场景, 核心需求集中在端到端硬管道, 保障数据安全, fgOTN 部署需要围绕“安全隔离、可靠传输、灵活调度”设计方案, 满足政务数据传输要求。

针对政务视频会议、大数据报表传输等带宽波动业务, 启用 fgOTN 无损带宽调整功能, 以 10 Mbit/s 为调整步长, 根据业务需求动态扩展或收缩带宽, 调整过程中业务不中断, 避免传统网络“带宽过剩浪费、不足卡顿”的问题。

3.3 智算中心互联

智算中心互联是“东数西算”政策落地的关键支撑，需要承载 AI 训练数据传输、虚拟机迁移、算力调度等业务，这类业务具有低时延承载，支撑算力调度的特点，传统 OTN 因调度颗粒粗、时延抖动大难以满足需求，fgOTN 凭借细粒度调度与确定性时延特性，成为智算中心互联的理想选择。

通过简化映射层级手段实现，映射层面简化 fgOTN 封装流程，仅保留“fgODUflex→ODU2”两级映射，去除传统 OTN 的多级复用环节，单节点转发时延降低，满足 AI 训练数据实时传输需求。

4 关键保障机制

fgOTN 部署是一项涉及设备改造、运维升级、成本控制的系统工程，需要从设备兼容性、运维管控、成本优化 3 个维度构建保障机制，确保技术落地过程中“兼容现有网络、简化运维流程、降低投资成本”，为 fgOTN 的规模化推广提供支撑。

4.1 设备兼容性保障

设备兼容性是 fgOTN 与现有网络协同演进的核心前提，需要重点解决存量设备升级等问题，避免技术过渡导致的网络割裂。

在存量设备升级方面，针对现网广泛部署的 VC-OTN 设备，采用“板卡更换+软件升级”的轻量化改造方案：无须整体替换设备机架，仅须更换支持 fgOTN 功能的交叉板，同时升级设备操作系统与业务处理软件，即可使原有 VC-OTN 设备具备 fgOTN 交叉调度能力；线路侧的 OTU2/OTU4 板卡可直接复用，仅须新增支持 E1/GE 接口的 fgOTN 支路板，用于接入小颗粒业务。

4.2 运维与管控保障

fgOTN 的运维管控需要适配其细粒度业务特性，通过“网管升级”与“SDN 化改造”，实现

从“人工运维”向“智能管控”的转型，提升运维效率、降低故障处理时长。

网管系统升级是基础支撑，需要在现有 OTN 网管平台中新增 fgOTN 业务管理模块，扩展功能：一是业务全生命周期管理，支持 fgOTN 业务的自动开通、带宽动态调整、业务删除；二是实时性能监测，新增时延监测、抖动统计、带宽利用率分析功能，可实时显示每路业务的性能指标；三是故障智能定位，通过解析 fgOTN OAM 开销中的故障信息，实现“业务-设备-链路”的端到端故障定位。

4.3 成本控制保障

fgOTN 部署需要平衡“技术升级”与“成本优化”，通过“分步投资”“资源利旧”，降低网络建设与运营成本，提升投资回报率。分步投资策略需要结合业务需求优先级，优先在业务密集、价值高的区域部署 fgOTN，避免盲目全覆盖。资源利旧需要最大化复用现网基础设施与设备资源，除新增 fgOTN 交叉板、支路板外，原有 VC-OTN 设备的主控板、电源板可继续使用，减少设备替换成本。

5 结束语

fgOTN 作为 OTN 体系下针对小颗粒业务的演进技术，其核心价值在于解决了传统 OTN 承载 1 Gbit/s 以下业务效率低、SDH 技术停滞退网的行业痛点，通过 10 Mbit/s 细粒度时隙调度、硬隔离、确定性低时延等特性，成为承接政企专线、电力继保、智算中心互联等场景小颗粒业务的核心方案。结合现有网络实际与技术特性，fgOTN 的部署需要牢牢把握“分层架构、分阶段演进、场景化定制”三大原则，方能在保护现网投资的同时，最大化适配业务需求。

在架构设计层面，“骨干层不动、城域层升级、接入层延伸”的分层策略实现了与现有 OTN 的无缝兼容，骨干层沿用 ODUk 大颗粒调度，避



免大规模改造；城域层通过部署 fgOTN 交叉能力，构建小颗粒业务调度核心；接入层延伸 fgOTN 至 CPE，打通业务接入“最后一公里”，形成端到端小颗粒承载链路。针对不同行业场景的差异化需求，充分发挥 fgOTN 在细粒度调度、硬隔离、动态带宽调整等方面的优势，满足其在多行业场景的适配性。

从技术演进趋势来看，fgOTN 将进一步与其他新兴技术融合，拓展应用边界。fgOTN 作为 OTN 体系的扩展技术，未来需要加强与 OSU、SPN 技术的协同。从应用场景拓展来看，fgOTN 在算力网络中的作用将愈发重要。随着“东数西算”政策推进，智算中心互联对低时延、高可靠传输的需求将持续增长，fgOTN 凭借 10 Mbit/s 细粒度调度与确定性时延特性，可作为算力调度的核心传输底座，实现“算力节点-用户终端”的端到端承载。未来，fgOTN 还可向边缘计算场景延伸，在边缘节点部署小型化 fgOTN 设备，为工业互联网、智慧家庭等边缘业务提供低时延、高可靠的小颗粒传输服务，进一步支撑数字经济的发展。

综上，fgOTN 作为小颗粒业务承载的核心技术，其部署与演进是一个长期过程，需要产业链各方协同发力，通过技术融合、标准完善、场景拓展，推动 fgOTN 成为新一代光传送网的重要组成部分，为 5G+垂直行业、算力网络、新型电力系统等领域的发展提供坚实的传输保障。

参考文献：

- [1] 廖尚金. fgOTN 关键技术和组网应用研究[J]. 电信科学, 2025, 41(1): 43-52.
- [2] 史庆娜, 黄善国. fgOTN 应用于智算中心互联研究综述[J]. 电信科学, 2025, 41(1): 28-40.
- [3] 刘建明. 电力 fgOTN 通信技术应用分析[J]. 电信科学, 2025, 41(1): 6-15.
- [4] 汤瑞, 广泽晶, 唐佳, 等. 面向新型电力系统的 fgOTN 关键技术与应用研究[J]. 电信科学, 2025, 41(1): 19-25.
- [5] 段宏, 马小梅, 权晨旭, 等. 面向智算光网络的 OSU/fgOTN 新技术体制及应用研析[J]. 邮电设计技术, 2024(12): 14-21.
- [6] 姜明凤, 李彦, 何娟, 等. 实现 fgOTN 数据传输的方法、保护方法、设备及介质[P]. 202510585779.6.
- [7] 牛文林, 郑维通, 陆源, 等. 政企双线融合演进关键技术及部署规划[J]. 山东通信技术, 2024, 44(4): 17-20.
- [8] ITU-T G.709.20. 2023 Overview of fine grain OTN[S].

[作者简介]

李鑫（1989-），女，中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师，主要研究方向为城域网光通信新技术。

贺政（1983-），男，博士，中国移动通信集团设计院有限公司教授级高级工程师，主要研究方向为城域网光通信新技术。

高志英（1981-），女，中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师，主要研究方向为 OTN 新技术演进。

习建华（1976-），男，中国移动通信集团设计院有限公司教授级高级工程师，主要研究方向为未来光通信技术演进。

黄乐天（1986-），男，中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师，主要研究方向为 OTN 新技术演进研究。

李德莉（1992-），女，中国移动通信集团设计院有限公司工程师，主要研究方向为 PON 新技术演进。