

ZTE中兴

Combo PON 技术白皮书

目录

1 Combo PON 起源	4
1.1 Combo 理念来源	4
1.2 Combo PON 满足 GPON 向 10G-GPON 演进需求	4
2 Combo PON 技术价值	5
2.1 光纤宽带朝多业务接入发展	5
2.2 10G-GPON 平滑演进	7
2.3 低成本提速建设	8
2.4 Combo PON 与外置 WDM1r 比较	8
3 Combo PON 关键技术分析	10
3.1 Combo PON 基本原理	10
3.2 三合一光模块	11
3.3 二合一的 MAC 兼容设计	13
3.4 波分与时分 Combo PON 的比较	14
4 Combo PON 全球应用情况	15
5 Combo PON 未来演进及展望	16

图目录

图 2-1 GPON 和 10G-GPON 上下行波长分布图.....	7
图 2-2 外置合波器方案和 Combo PON 方案示意图.....	9
图 3-1 Combo PON 技术原理示意图.....	10
图 3-2 MPM 架构参考图.....	11
图 3-3 Combo PON 光模块原理示意图.....	12
图 3-4 标准 Combo（波分，独立双通道）技术原理示意图.....	13
图 3-5 标准 Combo（时分，共享通道）技术原理示意图.....	14

表目录

表 3-1 MPM 定义的光模块类型表.....	12
表 3-2 波分 Combo PON 与时分 Combo PON 的比较表.....	14

1 Combo PON 起源

1.1 Combo 理念来源

光纤作为最优异的传输媒介，叠加 P2MP 架构，是 PON 技术过去十年取得巨大市场成功的基础。目前 EPON 和 GPON 技术已经大规模商用，可提供上下行分别为 1G 级别的接入带宽。随着 4K/8K、AR/VR 为代表的大流量视频业务的迅猛发展，用户带宽需求呈现井喷式增长，光接入网也随即进入 10G-PON 规模建设期。然而，网络的平滑演进面临原有 ODN 网络复用和老旧 ONU 前向兼容需求，对 PON 技术提出了更高的要求。

为此，在 GPON 向 10G-GPON 的共存演进上引入了 Combo PON 技术。历史上 Combo 的理念由来已久，在综合业务接入网 MSAN 上已经有应用，在同一块 Combo 线卡上实现 POTS 业务和 DS 业务的结合，以便节约走线和方便工程部署。同时 Combo 的理念在 EPON 向 10G-EPON 的演进过程中也被充分考虑，如 IEEE 在 2009 年发布的 10GE-PON 标准中充分考虑 EPON 的前向兼容以及 ODN 复用的需求，通过一个 10G-EPON 口同时兼容 EPON 终端和 10G-EPON 终端的接入，实现终端用户 ONU 的按需平滑升级，有效保护运营商的前期投资。

1.2 Combo PON 满足 GPON 向 10G-GPON 的演进需求

GPON 特有的性能优势使其在业界获得广泛关注，包括更高的带宽利用率、支持更多用户接入和多业务传输、以及提供电信级的网络监测和业务管理。因此，随着产业链的不断成熟，GPON 逐渐成为主流光接入技术，并在国内实现规模部署。同时为了适应终端用户日益增长的带宽需求，ITU-T 发布 10G-GPON 标准。

ITU-T 在 110G-GPON 标准的制定中同样考虑了 GPON 的前向兼容问题，但由于前期缺乏对产品应用设计的考虑，导致 GPON 与 10G-GPON 两张网络的相关产业链独立发展。无论是使用 XG-PON 线卡还是 XGS-PON 线卡，GPON ONU 与 10G-GPON ONU 都无法在同一 ODN 网络下兼容共存。在更换局端线卡的同时，其接入的终端 ONU 需全部同步完成更换与升级，无法满足终端用户的按需升级，并加大了运营商初期投资压力。

在 GPON 向 10G GPON 的网络共存演进初期，部分运营商采用外置 WDM1r 合波器的方案来实现带宽的平滑演进，但该方案存在机房空间需求大，合波导致光功率损耗增加以及设备走线复杂等不足。为了解决上述挑战，中兴通讯在业界创新性率先提出了 Combo PON 理念，将 GPON 口和 10G-GPON 口二合一，GPON、10G-GPON 和 WDM1r 光模块三合一，一块单板支持 2 代技术，1 个 PON 口接入三种技术的 ONU，从实现 GPON 向 10G-GPON 的平滑演进，从百兆向千兆平滑带宽提速。Combo PON 技术因其良好的兼容性和实际工程部署上的便捷性深受运营商的欢迎，已经成为 10G GPON 建设的主流方案并得到规模商用。

2 Combo PON 技术价值

2.1 光纤宽带朝多业务接入发展

- 家庭宽带业务朝多元化发展

近年来，宽带业务发展迅猛。家庭应用逐步从简单的语音、上网、多媒体网页、标清视频转向多元化的高清视频、家庭娱乐、在线办公/教育、生活服务等转变。用户

对业务的体验要求也更高，如沉浸式、多视角的视频体验，高效流畅的在线办公/教育体验等，都促使接入网带宽需求不断增长：带宽从 100M 逐步提速到 300M、500M 乃至 1000M 持续升级，部分运营商基于业务发展、市场竞争、网络演进等多方考量，推动从 GPON 向 10G-GPON 网络升级，并在市场中取得先机。

未来，随着宽带接入技术的继续发展，人们对家庭生活品质的需求不断提高，家庭宽带业务及应用还将更为丰富：家庭生活各方面逐渐信息化，家庭业务需求多样化，如智能家居、增强现实（AR）、极致高清（16K）甚至全息交互等新业务不断涌现，给人们带来更好的业务体验，同时对家庭宽带网络和家庭内的设备互联也将提出越来越高的要求。

- **固定宽带业务加速向企业扩展**

随着全球社会信息化程度的不断提升，许多国家正在经历着由传统经济向数字经济的转型，宽带接入、业务云化、大数据、物联网和人工智能等技术获得极大发展。数字经济的全面爆发使得宽带网络的支撑能力日益凸显，宽带已成为当前经济和社会发展中不可或缺的战略基础设施，促进国家信息化和人民生活水平的提高，并进而推动经济持续向前发展。

宽带业务发展也从以家庭接入为基础，逐步向高价值的垂直行业渗透，以提升宽带网络效率和缩短投资周期。目前光纤宽带接入已逐步从家庭场景拓展至平安城市、平安乡村、智慧社区、企业高速上网等场景，企业云桌面、企业上云、Cloud VR 等教育行业紧随其后，远程医疗和智能制造等涉及更多精密控制，正在开始进行探索实践。

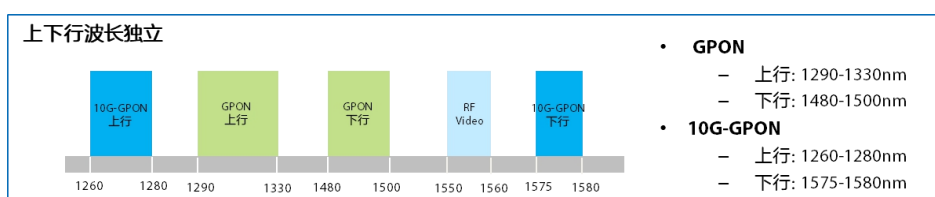
- **固定宽带可高性价比实现 5G 基站接入**

随着全球 5G 商用牌照的陆续发放，5G 应用将迎来爆发增长期。相比 4G，密集城区 5G 基站将成倍增加，对光纤接入资源需求也急剧增多。当前已建成的高密度覆盖的 ODN 网络可以低成本、按需、便捷接入 5G 基站。与光纤直连接入 5G 基站方案相比，基于 P2MP 拓扑的光接入 ODN 网络接入 5G 基站可大幅度节省主干光纤，降低接入成本，适合密集城区 5G 快速覆盖。

2.2 10G GPON 平滑演进

从标准来看，10G-GPON 和 GPON 上下行波长互相独立，10G-GPON 在标准上不存在与 GPON 共存的先天基础。

图 2-1 GPON 和 10G GPON 上下行波长分布图



现网 GPON 网络升级至 10G-GPON 网络时无法一蹴而就，需结合业务发展、不同用户需求、区域经济、投资价值等多种因素逐步进行，这就需要升级时光接入网局端先行部署 10G-GPON，终端侧按需演进，优先满足高价值用户高带宽接入需求，逐步升级方式进行。

同时现网从建设成本、维护难度等考虑，不可能同时部署和维护 10G-GPON 和 GPON 两张网络，尤其是 ODN 网络重新建设成本高、周期长、难度大。两套光接入系统设备并存时，用户业务开展和升级也不灵活。

有鉴于此，现网 GPON 网络向 10G-GPON 升级需解决 ODN 重用和两代终端兼容并

存问题。

2.3 低成本提速建设

在已广泛部署 GPON 网络的区域，如何低成本将 GPON 网络升级至 10G-GPON 网络满足日益增值宽带业务需求，是运营商目前面临的巨大压力。

除局端 10G GPON 系统设备、ODN 施工改造成本外，当前 10G-GPON ONU 相较于 GPON ONU 成本较高，而终端设备数量巨大，全网升级将是一笔庞大的投资，回报周期长。采用 Combo PON 方案仅需系统侧 OLT 升级，ODN 无需改动，即可同时接入现有 GPON ONU 和按需升级的 10G-GPON ONU，满足高价值用户需求，帮助运营商快速实现投资和收益的平衡，实现轻资产进行 10G-GPON 网络的建设。

用户侧初期采用 GPON ONU 进行部署，后续根据家庭用户的带宽升级需求、业务发展按需升级用户家庭里的 ONU 为 10G-GPON ONU，避免直接采用 10G-GPON ONU 建网带来的终端高成本投入。经模型测算可节省 50%的初期 PON 设备投资成本。**（采用模型：新建场景下 30%实装率，90% GPON 业务，10% 10G-GPON 千兆业务）

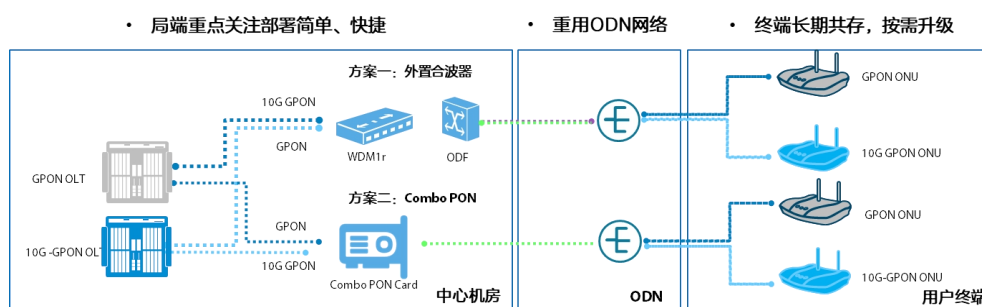
2.4 Combo PON 方案与外置 WDM1r 方案比较

目前现网 GPON 网络向 10G-GPON 网络升级主要有两种方案：

外置 WDM1r 合波器方案：在 ODN 部分新增外置 WDM1r 合波器将原 OLT GPON 端口和新增的 10G-GPON 端口进行合波，达到 ODN 网络复用的目的，GPON 和 10G-GPON 终端沿用各自网络接入业务。

创新的 Combo PON 方案：OLT 侧采用 Combo PON 板块替换已有的 GPON 板块，Combo PON 口具备 GPON、10G-GPON 和 WDM 合波器三合一功能，实现 ODN 复用，并接入 GPON 和 10G-GPON 两种终端，原有的 GPON 单板可调配到低带宽需求区域使用。

图 2-2 外置 WDM1r 合波器方案和 Combo PON 方案对比示意



外置合波器方案需要中断现有 PON 网络链路和业务，在光功率预算内新增外置 WDM1r 合波器，可实现合波器与 PON 设备解耦，WDM1r 合波器可独立部署和集约化管理。但外置 WDM1r 合波器方案对现网接入网机房条件和施工要求高，施工难度大，施工周期长，实际部署少：

- 需在有限的接入网机房中增加机架空间安装外置 WDM1r 合波器。
- 引入额外 1.5db 的光功率损耗，可能造成链路光功率预算不足。
- 需重新规划 ODF 光纤路由。

对比外置 WDM1r 合波器升级方案,采用 Combo PON 方案可以极大降低工程难度，施工便捷，快速部署，是目前 GPON 网络向 10G-GPON 网络升级的首选部署方案：

- “零”增加机房空间：无需考虑外置合波器的安装，实现集约化安装。

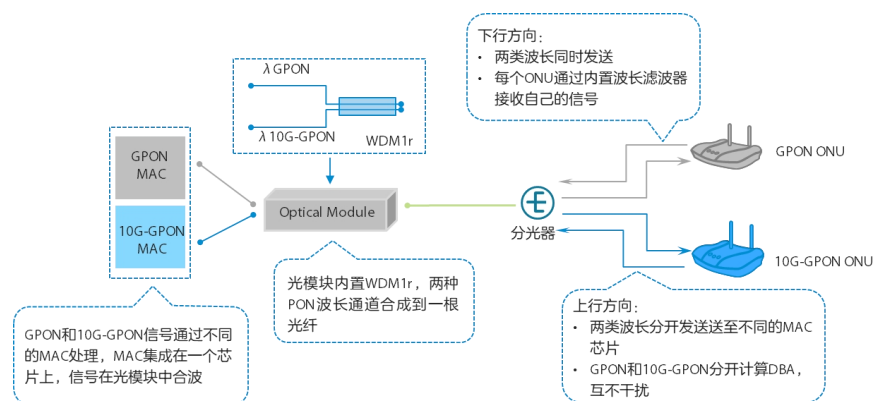
- “零”增加光功率插损：无需考虑外置合波器带来 1.5dB 插损，无需调整线路的光功率预算，对现有 GPON 网络光链路无影响。
- “零”调整 ODN：在局端 OLT 侧，原 GPON 的尾纤跳接到 Combo PON 口下，数据割接后即完成网络的升级，主干、分光器、分支光纤无需调整。
- 业务流程无变化：除资源系统新增数据外，业务开通、ONU 开通等无变化。
- 只需要新增 10G-GPON 业务管理数据即可，对已有 GPON 业务无影响。

3 Combo PON 关键技术分析

3.1 Combo PON 基本原理

一个 Combo PON 端口是 10G-GPON 和 GPON 合一端口，使用一根光纤链路。内部对应了两个物理通道（即外置合波器内置到光模块中），工作原理如下图所示：

图 3-1 Combo PON 技术原理示意图



下行方向：GPON 与 10G-GPON 通道分别由单独的 MAC 进行处理，数据送到光模块经 WDM1r 合波后，光信号发送到光纤传输。 GPON 与 10G-GPON 的两路波长信号

同时在 ODN 上传输。光信号到达 ONU 后，10G-GPON ONU 只滤波接收 10G-GPON 的信号，GPON ONU 只滤波接收 GPON 的信号。

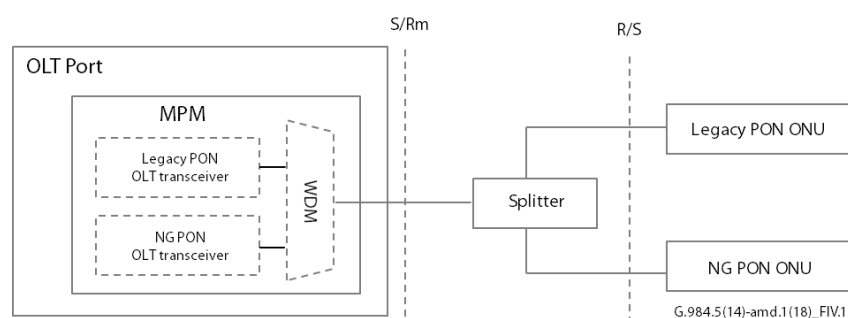
上行方向：GPON ONU 和 10G-GPON ONU 采用不同的波长进行信号传输，GPON 和 10G-GPON 光信号到达 OLT 上的 PON 光模块后，在光模块内部进行分波，然后分别送由不同的 MAC 通道进行处理。

Combo PON 关键技术创新和突破主要包括两个方面，SFP+小封装三合一 Combo PON 光模块及高密度 GPON&10G-GPON MAC 合一芯片。

3.2 三合一光模块

G.984.5 Amendment 2 Appendix IV 中定义这种三合一 Combo PON 光模块为 MPM 模块。CCSA 也对 Combo PON 光模块进行了标准化，包括技术要求、测试方法、可靠性试验、电磁兼容试验、检验规则、标志、包装、运输和贮存要求等方面内容。

图 3-2 MPM 架构参考图



MPM 光模块同时支持传统的 GPON 及 10G-GPON，因为两个 PON 系统共享同一个 ODN，为确保 GPON 系统在传统 ODN 网络上具有足够的光功率预算，需要考虑 10G-GPON 具有足够的链路预算来覆盖传统 ODN。WDM1r 会带来额外的光功率损耗，

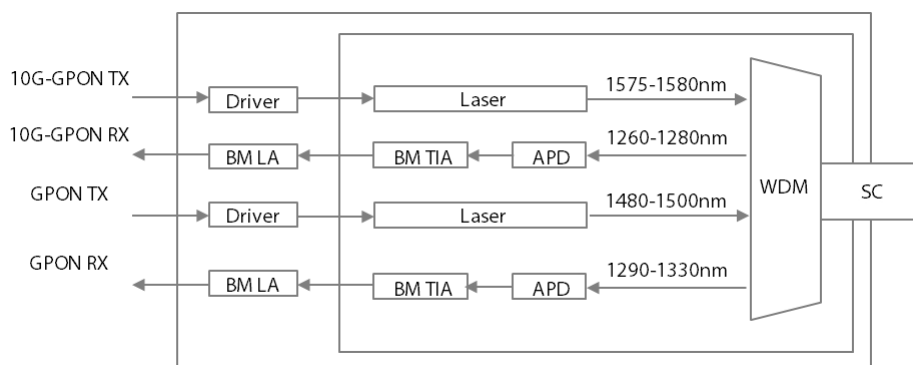
对于光功率预算紧张的 ODN 网络来说，WDM1r 的引入可能会对原有的 GPON 业务造成影响。所以 G.984.5 Amendment 2 Appendix IV 定了 MPM 模块在 S/Rm 点（WDM1r 以后）的 PMD 参数，使得 GPON 业务在 ODN 网络上的光功率预算与原有网络保持一致，同时 Appendix IV 也调整了 10G-GPON 的 PMD 参数，使得 10G-GPON 与 GPON 业务在 ODN 网络上的光功率预算一致。MPM 定义的光模块类型如下表，包括 Class B+、Class C+、Class D 三种类型。

表 3-1 MPM 定义的光模块类型表

OPL class	B+	C+	D
Minimum loss	13 dB	17dB	20dB
Maximum loss	28 dB	32dB	35dB
NOTE – Optical path loss classes B+, C+ and D are generally applicable for GPON and 10G-GPON MPM from the S/Rm point.			

Combo PON 光模块实现 GPON 光模块、10G-GPON 光模块及 WDM1r 三合一。为实现三合一，一方面 GPON 及 10G-GPON 光模块本身空间被压缩，另一方面内置 WDM1r 也会带来额外的光功率损耗，使 Combo PON SFP+小封装光模块的光功率指标达到 MPM Class C+的要求成为技术难点之一。详细的合一光模块原理如图 3-3。需要在光模块内部增大发送功率，提升接收灵敏度补偿 WDM1r 引起的衰减，以便在光模块出口 GPON、10G-GPON 通道仍能够满足标准定义的 GPON、10G-GPON 光模块参数要求，避免 Combo PON 的升级影响原有用户的业务。中兴通讯已经推出基于 SFP+小封装的 16 路高密 Combo PON 线卡，与业界最高密度的 16 路 GPON 线卡密度一致，支持运营商通过更换同等端口密度的 GPON 线卡，实现 GPON 到 10G-GPON 的平滑升级。

图 3-3 Combo PON 光模块原理示意图

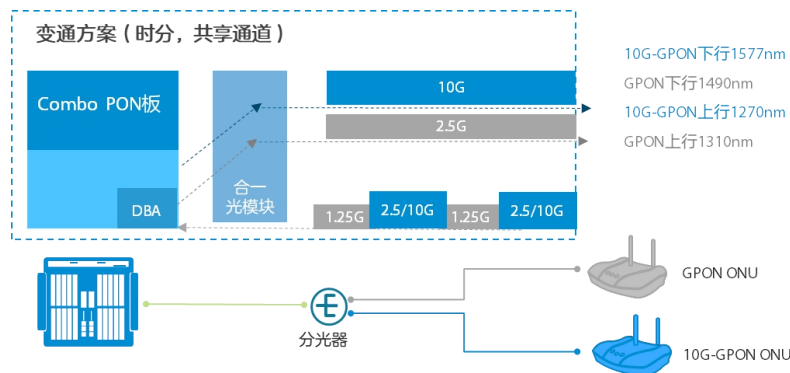


3.3 二合一的 MAC 兼容设计

接入产品高密度和大容量的特点要求 PON 板卡支持 16 路 PON 口成为诉求,相应地要求一块 PON MAC 芯片上能同时支持 16 路 GPON 与 10G-GPON。16 口 Combo PON 单板可对运营商部署占大多数的 16 口 GPON 线卡进行一对一升级,工程实施上更为经济便捷。另一方面通过集成度提升,可实现 OLT 设备对低功耗、低成本的核心竞争力需求。中兴通讯自主开发了业界最高端口密度的多模 PON MAC 芯片,可支持多种工作模式。

当芯片工作在 Combo PON 模式时, GPON 与 10G-GPON MAC 是两个并行独立的通道,如图 3-4 所示。

图 3-4 标准 Combo (波分, 独立双通道) 技术原理示意图



中兴通讯 Combo PON 实现方案有如下特点:

- GPON 和 10G-GPON 独立双通道。
- GPON 和 10G-GPON 通道分别严格遵循 GPON、10G-GPON 标准规范。
- GPON 和 10G-GPON 分别提供独立的上下行带宽，上行分别独立 DBA 调度。

3.4 波分与时分 Combo PON 的比较

除了以上介绍的波分 Combo PON 以外，还有一种 Combo PON 的实现上行是通过 GPON 与 10G-GPON 通道 TDM 时分实现的，如图 3-5 所示。这种内置合波方案所采用的上下行波长、下行实现方式与波分方案相同。差异在于上行带宽能力和上行 DBA 带宽分配方式上，其 10G-GPON 和 GPON 上行共享同一个接收通道，对上行 10G/2.5G 和 1.25G 带宽统一 DBA 调度。

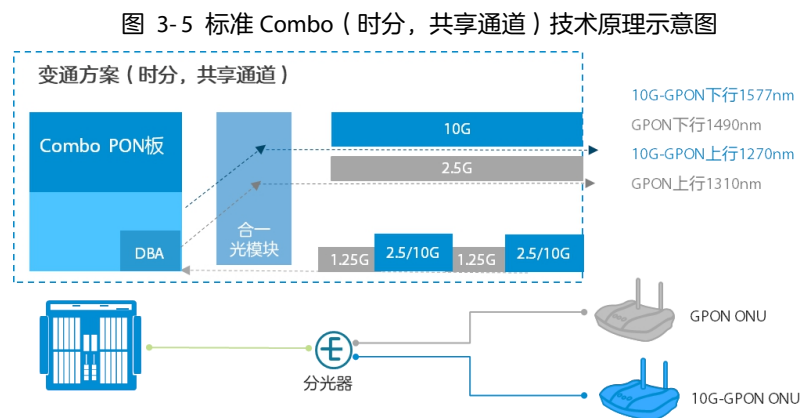


表 3-2 波分 Combo PON 与时分 Combo PON 比较

条目	波分Combo PON	时分Combo PON
标准遵循程度	波分Combo PON中, GPON通道遵循G.984系列标准, 10G-GPON遵循G.9807	时分Combo PON对原国际标准有较多的修改和私有实现

	系列标准，技术、芯片、器件完全标准化	
上行带宽能力	双通道独立接收、双DBA、并发无影响，上行带宽效率高，上行带宽为10G-GPON与GPON两通道的上行带宽之和	OLT侧需要统一的DBA协调GPON ONU和10G-GPON ONU的上行带宽，且由于GPON与10G-GPON上行采用TDM时分复用方式，在某一时刻只能有一种类型的ONU发送数据，导致上行带宽能力和分配效率劣化
产业链支持情况	波分Combo PON方案具有明显的技术和性能优势，更符合客户利益，已为业界广泛认可，实现规模商用。目前业界主流的光模块厂家都具备波分光模块规模供货能力	时分方案以性能劣化为代价，采用非标私有实现，实际未规模商用

4 Combo PON 全球应用情况

目前，在全球范围内已有 40 多家运营商开展 10G-GPON 部署升级，满足千兆接入市场需求。

在中国市场，随着“宽带中国”战略的实施和“提速降费”工作的不断深入，千兆网络覆盖已成为中国“十四五规划”发展目标，中国电信、中国移动、中国联通均已把千兆提速作为战略目标，光纤宽带接入发展进入千兆时代。

在 GPON 网络向 10G GPON 网络升级提速时，Combo PON 是实际规模商用部署的主流方案。截至 2020 年底，Combo PON 现网部署已超过 300 万端口。

5 Combo PON 未来演进及展望

业界普遍认为未来网络的演进将朝着超高带宽、超低时延以及海量连接等方向发展，如何简单、高效地升级系统容量，降低传输时延成为当前 PON 领域研究的热点。

10G PON 之后的下一代 Combo PON 技术发展主要有两个方向：一是单波速率提升，满足未来有线宽带的部署需求；二是多波长叠加，满足未来 5G 前传等的部署需求。

单波速率提升：目前 10G PON 固定接入网络已进入批量部署阶段。未来随着更高带宽的家庭宽带接入、政企接入需求的大量普及，50G-PON 将是光接入下一阶段的部署趋势。为满足不同业务的组网需求，10G-GPON 和 50G-PON 将长期共存。局端设备采用多制式共存的光收发合一模块是目前已被验证的最有效的网络演进解决方案，10G PON 与 50G-PON 的 Combo PON 将会成为后 10G-GPON 时代的一个重要演进方向。该方案可有效节省机房部署空间，降低光接入设备能耗，通过利用现网的 ODN 资源，降低运营商的网络建设成本，满足终端用户网络的按需升级。

多波长叠加：随着 5G 部署进程加速，如何利用现有 FTTx 网络资源，以较低的成本、较短的时间发展 5G 网络，加速 5G 业务发放，成为一个值得关注的方向。独立多波长叠加技术可实现逻辑上的点对点传输，保障网络安全隔离的同时有效降低原有 PON 网络的传输时延，满足 5G 传输等技术需求。基于独立波长叠加机制，使得一根光纤可同时支持 FTTx 和 5G 前传接入。该方向可充分利用现有 FTTx 网络丰富的光纤、管道、街边柜、接入机房等基础设施，通过固网与移动网络资源共享，在快速、低成本建设 5G 网络的同时提高 FTTH 网络的资源利用率，为用户提供稳定可靠的双千兆接入。