



## 聚焦场景的 10G PON 精准部署方案

林银<sup>1</sup>, 覃晓霞<sup>2</sup>, 王国栋<sup>1</sup>, 韦书田<sup>1</sup>

(1. 华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014;

2. 中国移动通信集团广西有限公司, 广西 南宁 530028)

**摘要:** 当前千兆用户和千兆应用迅猛发展, 各运营商都开始加快千兆光网建设, 但在 10G PON 口升级过程中存在设备造价高及网络建设复杂性高两个难点, 通过建立“GPON 千兆承载能力测算模型”“千兆投资效益分析模型”和“千兆价值小区识别模型”3 个模型, 模拟测算某移动网络演进时最佳的 10G PON 口部署场景, 实现 10G PON 口精准部署, 高效支撑千兆业务发展。3 个模型适用于任何地区任意运营商, 只需要输入对应 PON 现状数据及小区现状数据, 即可模拟输出相应的 10G PON 部署场景。

**关键词:** 10G PON 口部署; GPON 千兆承载能力; 千兆投资效益; 千兆价值小区识别

**中图分类号:** E963

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2021259

## Precise deployment scheme of 10G PON based on different scenarios

LIN Yin<sup>1</sup>, QIN Xiaoxia<sup>2</sup>, WANG Guodong<sup>1</sup>, WEI Shutian<sup>1</sup>

1. China Comservice Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310014, China

2. China Mobile Group Guangxi Co., Ltd., Nanning 530028, China

**Abstract:** At present, with the rapid development of gigabit broadband users and gigabit applications, each communication operation has begun to accelerate the construction of gigabit optical network. However, in the upgrading process of 10G PON, two difficulties have gradually emerged, namely, high equipment cost and high complexity of network construction. Three models was established, including GPON gigabit user carrying capacity measurement model, investment benefit analysis model of gigabit network construction and gigabit value community identification model, to simulate and calculate the best 10G PON port deployment scenario of a mobile company, so as to realize the precise deployment of 10G PON port and support the development of gigabit broadband service efficiently. At the same time, the three models were also applicable to any communication operators in any region. The corresponding 10G PON network deployment scenarios can be simulated and output only by inputting the current PON network data and the current community data.

**Key words:** 10G PON deployment, the gigabit user carrying capacity of GPON, gigabit network investment benefits, gigabit value community identification



## 1 引言

自 2017 年开始,国内各运营商逐步开展 10G PON (10-gigabit-capable passive optical network) 试点和少量部署,2019 年为国内千兆宽带规模部署的元年,2019 年年底工业和信息化部指导宽带发展联盟发布《千兆城市建设指标体系》,明确当前我国城市千兆光纤宽带和 5G 建设的发展方向 and 重点工作。目前千兆宽带网络已开始进入规模化商用时代,截至 2020 年 9 月,千兆及以上接入速率的固定宽带用户达 425 万<sup>[1]</sup>,千兆宽带用户发展迅猛,但国内千兆网络 10G PON 口占总 PON 口比例仍然较低,亟待进一步升级。

随着国内各运营商千兆光网建设逐步推进,各种千兆升级方案被提出,其中,文献[2-6]分别对重建 ODN (optical distribution network)、外置合波器和内置合波器 (COMBO PON 方案) 3 种千兆升级方案的优劣进行对比和详细探讨,给出方案选择建议。更进一步研究中,文献[7]对各运营商局端设备千兆部署策略进行了分析,文献[8]给出了细化不同场景的 10G PON 部署方案,文献[9-10]则研究了采用 COMBO PON 技术方式下的分区域建设部署策略和千兆升级过程中的重点及要点。前期大部分研究主要探讨各类千兆技术方案的优劣和应用场景,但对网络实际建设过程中的难点及具体实施要求还没有进一步地研究,因此本文通过对 GPON (gigabit-capable passive optical network) 现网能力、千兆投资效益、千兆发展潜力等多维度分析,获得更具体的 10G PON 口部署方案。

根据目前国内千兆网络建设情况,COMBO PON 是各运营商主流千兆升级方案,但当前 10G PON 口占比处于较低水平,未来仍将面临大规模升级的挑战,而 10G PON 口大规模部署存在问题和困难如下。

- 当前 10G GPON 单端口造价高,各运营商亟须确定精准高效的 10G PON 口部署方案,满足千兆业务发展同时还需兼顾投资效益。
- 现网 GPON 庞大,升级复杂度和难度高,10G PON 口建设需具备可落地性、场景明确的方案支撑。

针对上述问题,本文主要关注 COMBO PON 方式下的 10G PON 口部署方案,通过建立“GPON 千兆承载能力测算模型”“千兆投资效益分析模型”“大数据千兆价值小区识别模型”3 个模型,输出精准的 10G PON 口精准部署或升级场景,同时将理论方案应用于某移动千兆网络建设,通过实践证明了方案的有效性和优越性。

## 2 聚焦场景的 10G PON 部署方案

### 2.1 COMBO PON 技术特点

文献[2-5]均有详细介绍 COMBO PON 技术方案,该方案是指将 GPON 和 10G GPON 光波长在一个光模块内通过内置合波器实现双通道合波后从同一光口输出。三模 COMBO 光模块的原理如图 1 所示,它是将 GPON 光模块、10G PON 光模块及 WDM1r 器件合一,集成至一个光模块,可

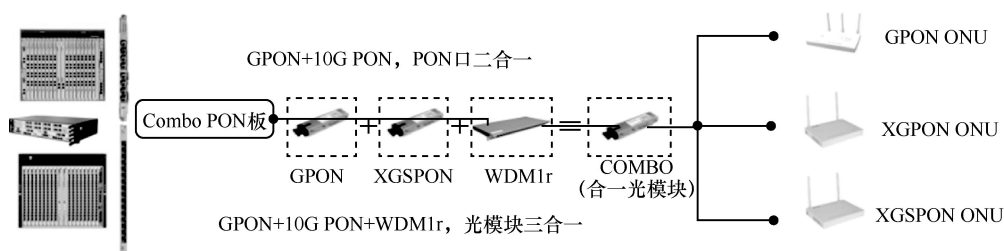


图 1 三模 COMBO 光模块的原理

兼容 GPON、XGPON 和 XGSPON 的 ONU，虽然只有一个光口，但实质上对应的是两个独立的物理通道，即 GPON ONU 只能接收 GPON 通道信号，XGPON 或 XGSPON 的 ONU 只能接收 10G PON 通道信号。

### (1) COMBO PON 优点

同时满足百兆、千兆业务，支持网络平滑演进，不改变 ODN；不引入插损；方案简洁，工程实施难度较低，不增加额外活接头和跳纤，也不多占用机房空间。

### (2) COMBO PON 缺点

综合造价高，单 10G PON 口综合造价为 3 000~3 200 元，约为 GPON 口的 3 倍。

目前该技术方案是各运营商选择的主流方案，但前期资源利用率低，投资大的问题将是目前和未来较长一段时间内困扰各运营的难点和痛点，如何在保障投资效益的同时，又能满足业务发展需求，且能保障网络建设的简洁性、可落地性，是亟待解决的问题。

## 2.2 聚焦场景 10G PON 部署研究思路

为解决 10G PON 造价高，投资大问题，主要考虑以下 3 条策略。

- 把握好合理的升级节奏，在一定周期内采用 10G PON/GPON 混合组网方式，充分利用现网 GPON 千兆承载能力。
- 提升 10G PON 口与业务需求匹配的精准性，保持较高的资源利用率。
- 在不影响千兆业务发展前提下，适当延长 10G PON 部署周期，充分利用 10G PON 设备价格逐年下降的规律。

基于以上策略出发，本文研究思路示意图如图 2 所示。

模型可输入的信息主要有 PON 现状、宽带业务发展现状、家庭带宽小区现状等，利用这些信息作为输入，分别从利用现网资源千兆承载、千兆投资效益、千兆未来发展潜力预测等维度，测

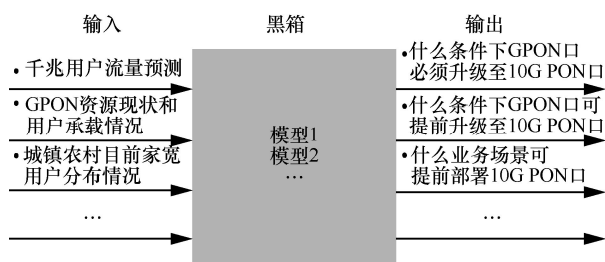


图2 研究思路

算哪些场景必须部署 10G PON 口，哪些场景可以适当提前部署 10G PON 口，从对运营商千兆网络建设给出更有指导性的建议。

## 2.3 GPON 千兆承载能力测算模型

根据千兆业务的带宽需求，GPON 具备一定千兆承载能力，为更高效地利用现网资源，本文参照文献[11]，建立了定量测算 GPON 千兆承载能力模型。

### 2.3.1 测算公式及参数说明

按照家庭宽带用户同时开通视频、VR 业务和宽带上网业务，对于视频、VR 业务，按每用户开通 2 路业务，包含点播、多播、VR 视频、VR 游戏业务，初期不考虑 VR 业务，视屏业务考虑为高清，中后期逐步增加 VR 业务，同时视屏业务实现全 4K。视频承载方式有多播和点播两种，接入用户数与带宽的计算公式如下。

$$\text{PON 端口带宽} \geq \Sigma ((\text{单用户签约带宽} - \text{单用户平均视频业务带宽}) \times \text{用户平均并发率} \times \text{数据平均并发率}) + \text{单 PON 端口下点播视频频道数} \times \text{点播视频并发率} \times \text{每频道带宽} + \text{单 PON 端口下多播视频频道数} \times \text{多播视频并发率} \times \text{多播视频异频道比} \times \text{每频道带宽} + \text{单 PON 端口下 VR 业务数} \times \text{VR 业务并发率} \times \text{每 VR 业务带宽}。$$

- GPON 端口根据目前设备能力，按下行带宽 2 300 Mbit/s 的 70% 利用率取定，即 1 610 Mbit/s，由于家庭带宽网络对下行速率要求较高，因此文本测算只考虑下行承载能力。

- 单用户签约带宽按实际取定，百兆宽带业



务按 100 Mbit/s 取定, 千兆宽带在测算中均按照 1 000 Mbit/s 取定。

- 用户平均并发率×数据平均并发率应根据实际现网的运维数据取定, 随着签约带宽越大, 用户平均并发率×数据平均并发率将会越低, 本次模型百兆宽带按 33%、千兆宽带按 10%。
- 视频、VR 业务带宽配置需求如下:

直播和点播的视频业务由 480P、720P 向 1 080P、4K 发展, 带宽分别按 10 Mbit/s、50 Mbit/s 计算, VR 业务目前处于初始应用阶段, 带宽按 130 Mbit/s 基础配置计算。

### 2.3.2 测算结果

#### (1) 初期阶段

场景: 开通视频为高清频道, 不考虑 VR 业务, 点播视频并发率、多播视频并发率、多播视频异频道率均为 50%。GPON 口可同时承载千兆和百兆用户最大值如图 3 所示, 当用户分布位于阴影部分, 即曲线与坐标轴围成的图形内时, GPON 口下行带宽可满足用户承载需求, 当用户分布位于阴影外部, 即曲线右上方时, GPON 口下行带宽无法满足用户承载需求, 可能造成网络拥塞。其中两个最极端情况: 当百兆用户为 0 时, 最多可承载 15 户千兆用户; 当百兆用户为 42 时, 最多可承载 0 个千兆用户。

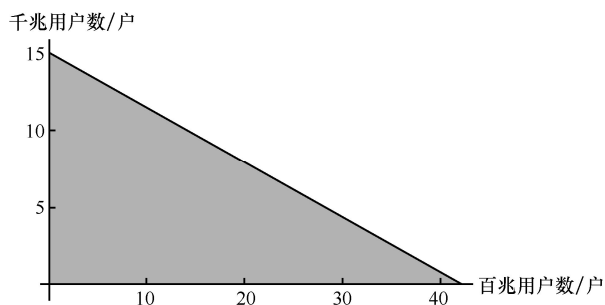


图3 初期 GPON 口千兆百兆用户承载能力

#### (2) 中期阶段

场景: 开通视频为高清、4K 频道各占 50%, 点播视频并发率、多播视频并发率、多播视频异

频道率均为 50%。GPON 口可同时承载千兆和百兆用户最大值如图 4 曲线所示, 当用户分布位于阴影部分时, GPON 口下行带宽满足用户承载需求, 当用户分布位于阴影外部时, GPON 口下行带宽无法满足用户承载需求, 可能造成网络拥塞。其中两个最极端情况: 当百兆用户为 0 时, 最多可承载 13 户千兆用户; 当百兆用户为 32 时, 最多可承载 0 个千兆用户。

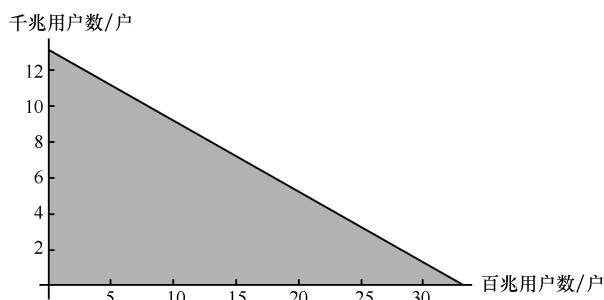


图4 中期 GPON 口千兆百兆用户承载能力

#### (3) 后期阶段

场景: 开通视频为全 4K 频道, VR 业务用户占比 50%, 点播视频并发率、多播视频并发率、多播视频异频道率、VR 业务并发率均为 50%。GPON 口可同时承载千兆和百兆用户最大值如图 5 曲线所示, 当用户分布位于阴影部分时, GPON 口下行带宽满足用户承载需求, 当用户分布位于阴影外部时, GPON 口下行带宽无法满足用户承载需求, 可能造成网络拥塞。其中两个最极端情况: 当百兆用户为 0 时, 最多可承载 11 户千兆用户; 当百兆用户为 24 时, 最多可承载 0 个千兆用户。

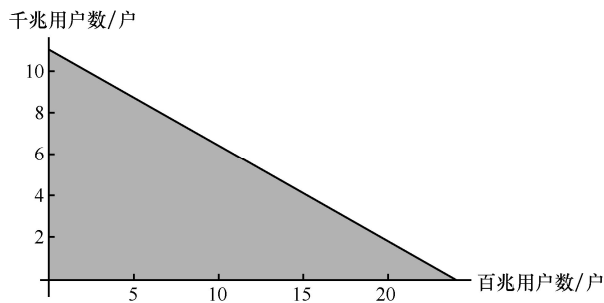


图5 后期 GPON 口千兆百兆用户承载能力

#### (4) 测算结果总结

综上所述,不同阶段 GPON 口升级范围如图 6 所示,随着时间增长,8K、VR 等千兆应用逐步增多,千兆用户带宽需求也随之增长,GPON 口千兆承载能力将逐步减弱,初期阶段当 GPON 口承载的千兆及百兆用户数位于区域 1 时需升级为 10G PON 口,中期阶段当 GPON 口承载用户位于区域 1 或区域 2 时需要升级为 10G PON 口,后期阶段当 GPON 口承载用户位于区域 1、区域 2 或区域 3 时,需升级为 10G PON 口。

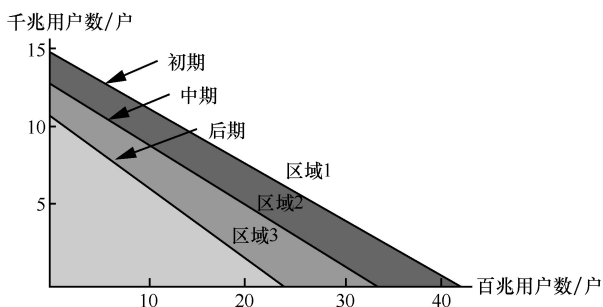


图 6 不同阶段 GPON 口千兆升级范围

## 2.4 千兆投资效益模型分析模型

对于现网承载家庭带宽用户数量越大的 GPON 口（由于本文基于某移动运营商作为分析对象,因此选择 GPON 口进行分析,该模型同样适用于 EPON 升级 10G PON 的情况),所对应区域的市场占有率也越高,则可发展为千兆宽带的潜在用户数越多,因此考虑对该类 GPON 口适当提前集中升级,一方面可以更好支撑市场业务发展,获得更高的投资效益,同时也可避免零星升级方式导致维护多次上站,浪费人工和投资,提高网络升级的可落地性。

本文以投资效益为出发点,建立数学模型模拟如下情况:对现网承载家庭带宽用户数大于等于某一个阈值  $x$  (后文简称:GPON 升级阈值)的 GPON 口进行集中升级为 10G PON 口,模拟该过程中,随着 10G PON 口承载千兆用户逐步增加,在全生命周期内可为企业带来的直接效益。目标为计算最优的 GPON 升级阈值,使得对用户数大

于等于该阈值的 GPON 口进行集中升级为 10G PON 口后,有最优的投资效益。由于千兆网络升级优先考虑城区,后乡镇农村,因此本文模拟的范围为城区区域。

### 2.4.1 千兆投资效益模型

#### (1) 投资效益计算模型及相关参数说明

单个 10G PON 口全生命周期内投资效益测算模型参数见表 1。

#### (2) GPON 升级阈值与 10G PON 口建设规模的关系

根据某移动 PON 网管数据可导出出现网每个 GPON 口承载家庭带宽用户数的数据,可模拟 GPON 升级阈值  $x$  与所需升级 GPON 口数比例的关系,模拟结果如图 7 所示。

共选取 41 组数据通过 Mathematica 软件做函数拟合,通过尝试了 1~5 阶函数拟合,发现一阶函数拟合度最高,因此获得 GPON 升级阈值  $x$  与需要割接的 GPON 口比例  $P_m(x)$  的函数关系式为:

$$P_m(x) = 0.951188 - 0.0151531x \quad (1)$$

则:

$$M(x) = P_m(x)M_a \quad (2)$$

其中,  $M_a$  为城区总 GPON 口数,  $M(x)$  为升级阈值为  $x$  的情况需要建设 10G PON 口规模。

#### (3) 10G PON 建设规模和千兆用户发展的关系

本文通过 3 个假设建立千兆用户发展和 10G PON 口建设规模之间的函数关系。

假设 1: 平均每个 10G PON 口普通家庭带宽用户升级为千兆家庭带宽用户的概率相同;

假设 2: 在未来 5 年内,所有的家庭带宽用户将 100% 升级为千兆用户。本文考虑千兆家庭带宽用户为线性增长;

假设 3: 在未来 5 年内, GPON 光猫千兆用户将逐步升级为 10G PON 光猫千兆用户,并在第 5 年 10G PON 光猫千兆用户达到 100%, 且该转变为线性变化。



表 1 单个 10G PON 口全生命周期内投资效益测算模型参数

| 模型参数          | 单位                              | 参数说明 | 取值                                                                                                                                                                                           |
|---------------|---------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10G PON 口建设投资 | 10G PON 口建设总投资                  | 万元   | 建设规模 $\times$ 单 10G PON 口造价                                                                                                                                                                  |
|               | 单个 10G PON 口综合造价                | 万元   | 根据市场价格计算, 含设备、设计、施工、监理等费用                                                                                                                                                                    |
|               | 10G PON 口建设规模                   | 万端   | 建设规模与 GPON 升级阈值 $x$ 相关                                                                                                                                                                       |
| 千兆用户发展        | 预计发展 GPON 光猫千兆用户                | 万户   | 千兆用户发展数量受 GPON 升级阈值 $x$ 影响, $x$ 越大, 千兆发展数量越多, 同时受时间 $T$ 影响, 随着时间增加而逐步增大。由于目前各运营商家庭带宽用户渗透率基本保持一个平衡状态, 本文计算投资收益仅考虑原有家庭带宽用户升级带来的收益, 不考虑新增千兆用户。GPON 光猫千兆用户占比随时间增加而逐步减少, 10G PON 光猫千兆用户占比随时间增加而增加 |
|               | 预计发展 10G PON 光猫千兆用户             | 万户   |                                                                                                                                                                                              |
| 千兆收入          | 全生命周期增值收入合计                     | 万元   | 下文详细计算                                                                                                                                                                                       |
|               | 10G PON 口全生命周期                  | 月    | 本文 10G PON 口全生命周期按取 8 年 (96 个月), 下文详细说明                                                                                                                                                      |
|               | 相比普通百兆套餐, 每个 GPON 光猫千兆套餐增值收入    | 元    | GPON 光猫千兆用户 ARPU 减普通百兆用户 ARPU, 根据市场调研获取, 本文取值 2                                                                                                                                              |
|               | 相比普通百兆套餐, 每个 10G PON 光猫千兆套餐增值收入 | 元    | 10G PON 光猫千兆用户 ARPU 减普通百兆用户 ARPU, 根据市场调研获取, 本文取值 4                                                                                                                                           |
|               | 每个千兆用户调测费                       | 元    | 按市场实际情况计取, 本文取 300                                                                                                                                                                           |
|               | 单千兆用户升级成本                       | 万元   | 下文详细计算                                                                                                                                                                                       |
| 单千兆用户升级成本     | 成本类合计                           | 万元   | 下文详细计算                                                                                                                                                                                       |
|               | 每个千兆用户装机费用                      | 元    | 按市场实际情况计取, 本文取 89                                                                                                                                                                            |
|               | 单 GPON 口割接至 10G PON 口综合维护成本     | 元    | 按实际施工情况计取, 本文取 27.5                                                                                                                                                                          |
|               | 10G PON 光猫价格                    | 元    | 按市场实际情况计取, 本文取 249                                                                                                                                                                           |
|               | 拆除 GPON 口在乡镇农村利旧节省成本            | 元    | GPON 口拆除, 考虑到后期利用率, 物资折旧情况, 单 GPON 口利旧金额=新设备价格 $\times$ 平均折旧率 $\times$ 利用率, 本文考虑每个 GPON 口可节省成本为 97.5 元                                                                                       |
| 投资效益          | 投资收益                            | 万元   | 直接效益=全生命周期增值收入合计-成本类合计 10G PON 口建设总投资                                                                                                                                                        |
|               | 投资回报率                           | 万元   | 投资回报率=年均投资收益/固定投资总额 $\times 100\%$                                                                                                                                                           |
|               | 投资回收期                           | 年    | 投资回收期=固定投资总额/每年投资效益                                                                                                                                                                          |

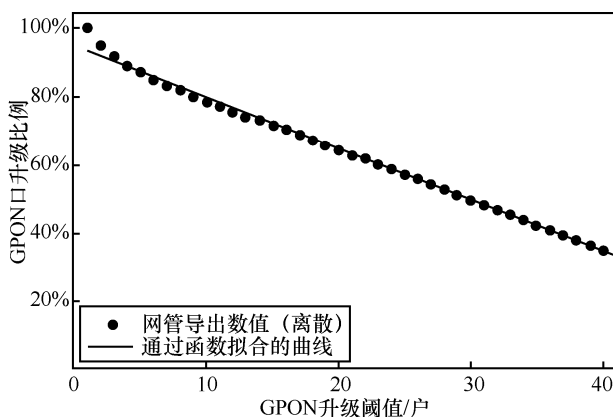


图 7 GPON 口升级阈值与 GPON 口升级比例关系

(1) 千兆用户发展数和 10G PON 口建设规模的关系计算

根据假设 1 和假设 2, 可得千兆用户发展户数可表示为:

$$N(x, T) = N_x(x)P_a(T) \quad (3)$$

其中,  $N_x(x)$  为将 GPON 口升级为 10G PON 口后, 承载在 10G PON 口上的家庭带宽用户, 根据网管导出的每个 GPON 口承载家庭带宽用户数, 可拟合  $x$  与承载在 10G PON 口家庭带宽用户占比  $P_n(x)$  的函数关系, 本文共选取 41 组  $(x, P_n(x))$

数据数值拟合了 1~5 阶函数,发现 2 阶函数拟合度最高,GPON 口升级阈值与升级用户占比例关系如图 8 所示。

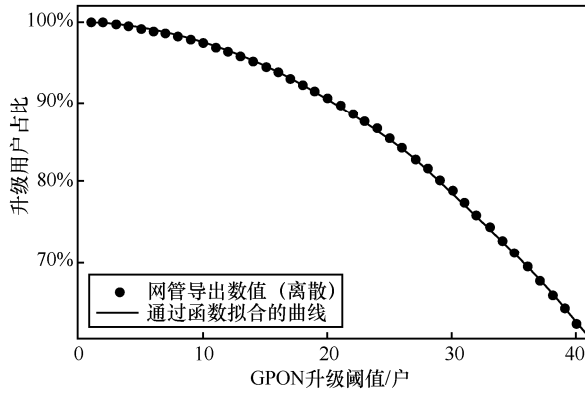


图 8 GPON 口升级阈值与升级用户占比例关系

根据数值拟合可得,  $P_n(x)$  和  $x$  呈非线性关系:

$$P_n(x) = 0.996\ 662 + 0.000\ 095\ 289\ 6x - 0.000\ 234\ 846x^2 \quad (4)$$

则:

$$N_x(x) = P_n(x)N_a \quad (5)$$

其中,  $N_a$  为城区总家庭带宽用户数。

式(3)中  $P_a(T)$  为千兆用户占比随时间的变化情况,可表示为:

$$P_a(T) = P_{a_0} + v_a T \quad (6)$$

其中,  $P_{a_0}$  为当前千兆用户占比,本文假设当前还未开始发展千兆用户,因此  $P_{a_0} = 0$ ,  $v_a$  为千兆用户占比增长速度,根据假设 2,  $v_a = 0.2$ 。

(2) GPON 光猫和 10G PON 光猫千兆用户发展数与 10G PON 口建设规模的关系

根据假设 3, 10G PON 光猫千兆用户占总千兆用户比例  $P_s^s(T)$  随时间  $T$  的变化关系为:

$$P_s^s(T) = v_s T \quad (7)$$

其中,  $v_s$  为 10G PON 光猫千兆用户增长速度,则 10G PON 光猫千兆用户数为:

$$N_s(x, T) = N_x(x)P_a(T)P_s^s(T) \quad (8)$$

根据假设 3,  $v_s = 0.2$ , 则 GPON 光猫千兆用户占比为:

$$P_a^h(T) = 1 - v_s T \quad (9)$$

相应的 10G PON 光猫千兆用户数为:

$$N_h(x, T) = N_x(x)P_a(T)P_a^h(T) \quad (10)$$

(4) 10G PON 口建设投资、千兆收入、千兆成本的计算方式

1) 10G PON 口建设投资

10G PON 口建设投资可表示为式(11):

$$I_m(x) = C_{10G}M(x) = C_{10G}M_aP_m(x) \quad (11)$$

2) 千兆用户发展收入

千兆收入主要来自两部分,一部分为普通家庭带宽用户升级为 10G PON/GPON 光猫千兆用户后所带来的 ARPU 值提升,另一部分为对于使用 10G PON 光猫的千兆用户,会收取一次性的调试费用。

从 2000 年第 2 代固网开始,一般每 5~8 年出现一次固网技术的变革,因此本文考虑 10G PON 全生命周期为 8 年,千兆收入增长分两个阶段,阶段一为 0~5 年,该阶段 10G PON 口上千兆用户数在不断增加,同时 10G PON 光猫千兆用户也在不断增加;阶段二为 6~8 年,该阶段 10G PON 口上用户 100% 为 10G PON 光猫千兆用户。

在阶段一 0~5 年内,每个 10G PON 口承载的千兆用户数随时间  $T$  动态变化,因此通过不断累加  $dT$  时间内千兆用户带来的 ARPU 增加值,即可获得时间  $T$  内所带来总收益增加值,阶段一千兆收入可用式(12)表示:

$$I_1(x, T) = N_s(x, T)E_t + \int_0^T (12A_s N_s(x, T) + 12A_h N_h(x, T))dT, T \in (0, 5] \quad (12)$$

阶段二千兆用户处于稳定状态,则收入可表示为:

$$I_2(x, T) = A_s N_s(x)(12T - 60), T \in (5, 8] \quad (13)$$



全生命周期内千兆收入可表示为:

$$I(x, 8) = I_1(x, 5) + I_2(x, 8) \quad (14)$$

### 3) 千兆用户发展成本

千兆成本来源主要为 10G PON 光猫设备费用及装机费用、GPON 口割接至 10G PON 口的维护成本、GPON 口拆除利旧产生的负成本, 具体计算如下:

$$C(x, T) = \begin{cases} -70M(x) + 338N_s(x, T), & T \in [0, 5] \\ -70M(x) + 338N_x(x), & T \in (5, 8] \end{cases} \quad (15)$$

## 2.4.2 投资效益分析

### (1) 全生命周期内投资收益

千兆投资收益=千兆收入-10G PON 口建设投资×千兆成本, 根据式 (11)、式 (14)、式 (15) 可表示为:

$$E_{VA}(x, T) = \begin{cases} I_1(x, T) - I_m(x) - (-70M(x) + 338N_s(x, T)), & T \in [0, 5] \\ I_1(x, 5) + I_2(x, T) - I_m(x) - (-70M(x) + 338N_x(x)), & T \in (5, 8] \end{cases} \quad (16)$$

当  $T$  为 8 时, 可计算全生命周期内的投资收益为:

$$E_{VA}(x, 8) = I_1(x, 5) + I_2(x, 8) - I_m(x) - (-70M(x) + 338N_x(x)) = 206N_x(x) - 2446M(x) \quad (17)$$

GPON 口升级阈值与千兆投资收益关系如图 9 所示, 表明当  $x=16.71$  时, 全生命周期内投资收益可获得最大值 68 830 万元, 因此建议对承载家庭宽带用户大于或等于 17 户的 GPON 口集中割接升级为 10G PON 口。

### (2) 投资回收期

投资回收期  $T$  满足方程:

$$E_{VA}(x, T) = 0 \quad (18)$$

根据式 (16), 上述方程可表示为:

$$\begin{cases} 0.88N_x(x)T^2 + 0.32N_x(x)T^3 - 2445M(x) = 0, & T \in [0, 5] \\ (48T - 178)N_x(x) - 2446M(x) = 0, & T \in (5, 8] \end{cases} \quad (19)$$

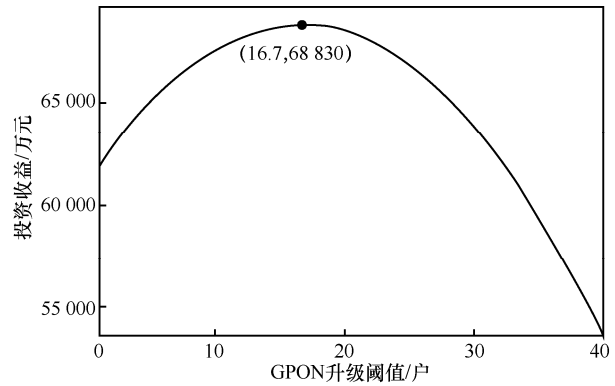


图9 GPON 口升级阈值与千兆投资收益关系

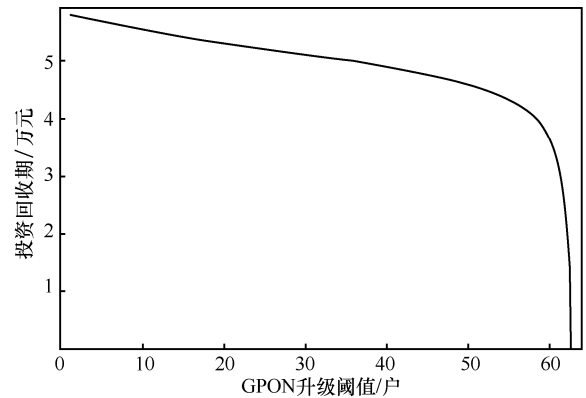


图10 GPON 口升级阈值与投资回收期关系

图 10 表明, 投资回收期总体趋势随 10G PON 建设规模增加而增加, 特别的对于 GPON 升级阈值在 1 到 58 范围内, 投资回收期变化平缓, 在 4~6 年内, 结合全生命周期内投资收益, 建议优先完成用户大于或等于 17 户的 GPON 口集中割接升级。

### (3) 投资回报率

投资回报率=年均投资收益/固定投资总额×100%, 根据式 (11) 和式 (17) 可得:

$$R_r(x) = \frac{E_{VA}(x, 8) / T}{I_m(x)} = \frac{(206N_x(x) - 2446M(x)) / 8}{C_{10G}M(x)} \quad (20)$$

一般而言大部分行业正常投资回报率在 5%~20%, GPON 口升级阈值与投资回报率关系如图 9 所示。当 GPON 升级阈值为 17 户时, 投资回报率为 19.7% 是比较优异的结果, 结合全生命周期的投资收益情况, 建议优先完成 17 户的 GPON 口集中割接升级。

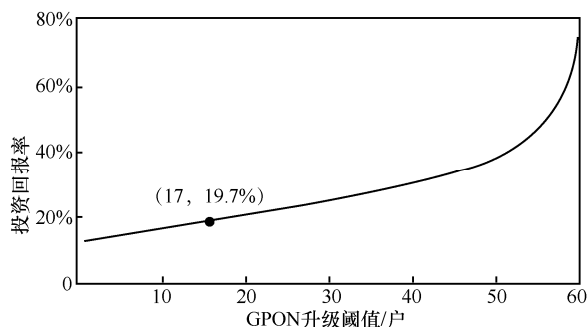


图 11 GPON 口升级阈值与投资回报率关系

## 2.5 千兆价值小区识别模型

千兆价值小区识别指通过收集某个区域或城市所有小区的用户及其他特征指标为样本, 通过选择合适的统计学方法, 对每一个特征值打分及赋予一定的权重值, 建立一套有效刻画小区千兆潜力的评分模型, 实现千兆价值小区识别, 有效指导网络精准千兆升级。

### (1) 小区千兆价值评分模型

千兆价值小区评分模型可通过以下 5 个步骤建立。

第一步, 数据样本收集。本次模型分析的数样本可以为某一城市小区特征指标, 主要分为两类, 一类是用户特征值, 包括已签约用户数占比、高套餐用户占比、平均签约带宽、当前平均带宽流量等; 第二类是非用户特征值, 包括小区住户数、房屋价格、5G 规划覆盖、友商千兆住进等。

第二步, 制定评分标准。对全量小区每个特征指标进行排序, 根据排名得分, 例如前 20% 名得 5 分, 20%~40% 得 4 分, 依次递减, 最低分为 1 分。

第三步, 计算评分权重。由于每个对千兆发展潜力影响不同, 因此不能按同权计取, 一般可采用主观赋权法/客观赋权法两种方式赋权, 主观赋权法典型方法为层次分析法 (AHP), 客观赋权法典型方法为变异系数法, 本文主要选择后者进行权重计算。

第四步, 计算得分。根据权重可计算每个小区千兆发展潜力得分, 根据得分获得小区千兆网

络升级的优先排序表, 精准指导网络部署。

模型建立的难点在于第三步权重计算, 下面详细介绍本文采用的变异值法计算过程, 假设某地市小区数量总共为  $n$  个, 首先计算每个指标平均得分为:

$$\bar{A}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i^i \quad (21)$$

第二步计算每个指标的标准差:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i^i - \bar{A}_i)^2} \quad (22)$$

第三步计算每个指标的变异系数:

$$C_i = \frac{\sigma_i}{\bar{A}_i} \quad (23)$$

最后计算各指标权重:

$$W_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^8 C_j} \quad (24)$$

根据上述方法, 可评估某小区如下千兆潜力见表 2。

表 2 某小区如下千兆潜力

| 千兆价值小区评分体系 | 特征值      | 某小区评分 | 权重占比 | 综合得分 | 合计得分 |
|------------|----------|-------|------|------|------|
| 用户特征       | 签约用户数占比  | 5     | 15%  | 0.75 | 4.08 |
|            | 高套餐用户占比  | 4     | 28%  | 1.12 |      |
|            | 平均签约带宽   | 4     | 15%  | 0.6  |      |
|            | 当前平均带宽流量 | 4     | 8%   | 0.32 |      |
| 小区特征       | 小区住户数    | 2     | 5%   | 0.1  |      |
|            | 房屋价格     | 5     | 10%  | 0.5  |      |
|            | 5G 规划覆盖  | 4     | 12%  | 0.48 |      |
|            | 友商千兆住进   | 3     | 7%   | 0.21 |      |

### (2) 某移动千兆价值小区分布

根据上述千兆价值小区评估模型, 对不同得分区间定义发展潜力指数, 然后对某区域小区进行统计分析, 特别对各星级小区的分布情况、覆盖情况、用户占比情况等关键指标给出明确的量



图 12 某移动千兆价值小区情况分析

化。某移动千兆价值小区情况分析如图 12 所示。

另外还可针对 4 星和 5 星小区在城市中的分布情况，制作热力图。根据热力图，一方面可支撑市场聚焦重点小区发展千兆业务，另一方面可指导网络精准开展 10G PON 口部署。

## 2.6 千兆部署策略总结

根据第 2.3~2.5 节的模型测算，10G PON 口部署分两大类需求，第一类为刚性升级需求，即随着千兆用户数量增长，GPON 口下行带宽不足以支撑用户承载的情况，对此类场景本文给出了近、中、远期 3 条 GPON 口同时承载千兆及百兆用户最大能力值，从而判断 GPON 口承载千兆和百兆用户数分布处于何种情况时需升级为 10G PON 口；第二类需求为非刚性需求，即适当提前部署 10G PON 口，更好支撑市场业务发展，针对该类需求，本文给出两种升级场景，一是根据千兆投资效益模型测算，建议优先对承载用户数  $\geq 17$  户的 GPON 口升级 10G PON 口，此时可获得最优的投资收益，二是根据千兆价值小区识别模型分析，建议优先对 4 星和 5 星等千兆发展潜力较高的小区进行 10G PON 口部署，可更精准命中潜在的千兆用户，更好支撑市场业务发展。

## 3 结束语

本文从现网千兆承载能力、投资效益和千兆业务发展潜力等维度为出发点，分别建立“GPON 千兆承载能力测算模型”“千兆投资效益分析模

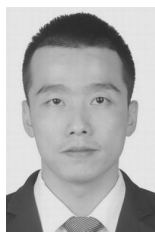
型”和“千兆价值小区识别模型”3 个模型，通过模型测算给出了某移动可量化的 10G PON 口部署场景，有效提升千兆网络建设精准性，且有力支撑市场千兆发展。同时本文的 3 个模型具有广泛的适用性，可推广至任意地区、任意运营商进行应用。

## 参考文献:

- [1] 马智勇. 家庭光纤组网技术方案探讨[J]. 电信科学, 2021, 37(5): 170-176.  
MA Z Y. Discussion on technical solutions to fibre-optic home networking[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(5): 170-176.
- [2] 雷芳, 王玉磊, 李云霞. 面向千兆宽带的 PON 演进策略研究[J]. 通信电源技术, 2020, 37(4): 209-210.  
LEI F, WANG Y L, LI Y X. Research on PON evolution strategy for gigabit broadband[J]. Telecom Power Technology, 2020, 37(4): 209-210.
- [3] 李学成, 封志敏, 汤进凯, 等. 面向双千兆业务发展的传输网络演进思考[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(6): 2-9.  
LI X C, FENG Z M, TANG J K, et al. Thoughts on the evolution of transmission network for dual gigabit business development[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2019, 32(6): 2-9.
- [4] 谢连梅. 浅谈现网 GPON 平滑过渡 10G PON 方案[J]. 信息通信, 2019, 32(8): 57-58.  
XIE L M. Discussion on 10G PON scheme for smooth transition of existing network GPON[J]. Information & Communications, 2019, 32(8): 57-58.
- [5] 徐正国. 有线宽带 FTTH 场景提速改造方案研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 31(7): 19-22.  
XU Z G. Research on speed-changing scheme of fiber to the home access network[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2018, 31(7): 19-22.
- [6] 栗新汉. 中国移动千兆宽带接入方案探讨[J]. 中国新技术新产品, 2018(20): 1-3.

- SU X H. Discussion on Gigabit broadband access scheme of China Mobile[J]. New Technology & New Products of China, 2018(20): 1-3.
- [7] 侯冰俏, 娄超. 千兆宽带局端设备部署思路探究[J]. 产业科技创新, 2020, 2(13): 44-45.
- HOU B Q, LOU C. Research on the deployment of Gigabit broadband office equipment[J]. Industrial Technology Innovation, 2020, 2(13): 44-45.
- [8] 刘铁力. 10G PON 技术的研究及方案的实现[J]. 无线互联科技, 2019, 16(7): 22-24.
- LIU T L. Research and implementation of 10G PON technology[J]. Wireless Internet Technology, 2019, 16(7): 22-24.
- [9] 严沁, 步彤, 胡海芳, 等. 有线宽带 PON 网络千兆提速演进策略及应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(6): 19-23.
- YAN Q, BU T, HU H F, et al. The strategy and application of evolution to gigabit access in PON[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2019, 32(6): 19-23.
- [10] 刁磊. 千兆家宽建设方案研究[J]. 电信快报, 2020(5): 30-32, 36.
- DIAO L. Research on the construction scheme of Gigabit Broadband[J]. Telecommunications Information, 2020(5): 30-32, 36.
- [11] 中国移动千兆宽带网络规划建设指导意见[EB]. 2020. Guidance on the planning and construction of China Mobile's Gigabit broadband network[EB]. 2020.

## [作者简介]



林银 (1990- ), 男, 华信咨询设计研究院有限公司通信工程师, 主要研究方向为承载网通信技术。



覃晓霞 (1973- ), 女, 中国移动通信集团广西有限公司高级工程师, 主要研究方向为承载网通信技术。

王国栋 (1984- ), 男, 华信咨询设计研究院有限公司通信工程师, 主要研究方向为承载网通信技术。

韦书田 (1991- ), 男, 华信咨询设计研究院有限公司通信工程师, 主要研究方向为承载网通信技术。