



下一代 ODN

网络建设解决方案白皮书

中国通信企业协会
CHINA ASSOCIATION OF COMMUNICATION ENTERPRISES

组织单位

中国通信企业协会

编写单位

中国信息通信研究院
中国联合网络通信有限公司研究院
中国移动通信集团设计院有限公司
中讯邮电咨询设计院有限公司
华为技术有限公司
中通服咨询设计研究院有限公司
中国信息通信科技集团有限公司
普天信息工程设计服务有限公司
北京信通传媒有限责任公司

编委会

名誉主编：苗建华

主 编：赵中新

执行主编：韩 镒 赵俊涅

编写组组长：刘 泰

编写组成员：刘德强 卢海萌 李洪栋 王迎春 王 波 樊可欣 叶 祥 丁爱娟
王 晨 李元年 黄美金 刘 涛 杨红伟 李 果 马 俊 冯仕琨
高 峰 何伯勇 解创创 李 东 李 昶 祁 彪 李 倩 马志刚
李晓梅 沈舜华 陈 昕 陈明亮 赵 娟 刘亚珍 张 迪 李成蹊

前言

近年来，以信息基础设施为基石的数字化转型成为全球各主要强国的重要发展战略，引领全球经济快速发展。特别是疫情以来，5G、千兆光纤网络在经济社会发展和数字化转型中发挥了巨大作用。“云办公”“云会议”“云诊疗”“云课堂”等成为人们工作学习生活的新常态，“云商业”“云服务”更是为人类社会生活提供了巨大便利。

加快新型基础设施建设，是数字化发展的前提和基础。当前，我国已建成全球规模最大的光纤宽带和5G网络，正在加快建设以“双千兆”网络、数据中心等为主体的高速泛在、集成互联、智能绿色、安全可靠的新型数字基础设施，网络覆盖能力持续提升，网络质量日益优化，创新能力大幅增强，新业态蓬勃发展。

光分配网络（ODN, Optical Distribution Network）是连接通信机房和用户设备的实体设施，是千兆光纤网络的关键组成部分。目前，我国ODN网络建设广泛采用以现场熔接方式为主的传统建设模式，存在施工难度大、建网速度慢、成本高等问题，并且数字化水平低，后期运维难度大，给网络质量的稳定和进一步提升带来挑战。网络建设运维对质量、效率、成本的需求正在推动ODN网络向下一代演进。本白皮书结合当前技术发展和建设实践，梳理下一代ODN网络关键解决方案和技术，并对未来发展提出展望，期望为我国网络基础设施高质量发展提供支撑和参考。

目录

1 宽带接入网络发展现状 / 01

2 ODN 网络概述 / 02

2.1 网络结构	2
2.2 光缆	3
2.3 光分支器件及连接器	3
2.4 光节点设备设施	3

3 ODN 网络技术演进 / 04

3.1 传统 ODN 网络建设挑战	4
3.2 ODN 网络演进要求	6
3.3 ODN 代际划分	7

4 预连接 ODN 解决方案 / 10

4.1 预连接 ODN 解决方案价值	10
4.2 预连接 ODN 关键技术	11
4.3 全程预连接 ODN 网络设施组成	16
4.4 全程预连接 ODN 典型组网方案	17

5 预连接 ODN 解决方案实施 / 19

5.1 预连接 ODN 网络设计	19
5.2 预连接 ODN 工程实施	24
5.3 预连接 ODN 测试验收	27

6 基于图像识别的预连接 ODN 数智化方案 / 29

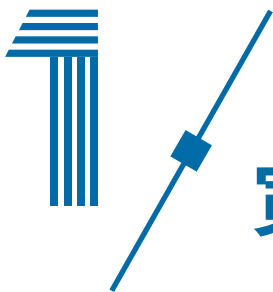
6.1 图像识别的作用	30
6.2 关键识别元素	31
6.3 方案实施	32

7 数智化 ODN 愿景 / 37

7.1 ODN 网络管理痛点	37
7.2 数智化 ODN 预期效果	37

8 总结和展望 / 40

附录 I 预连接 ODN 验收测试实例 / 41



宽带接入网络发展现状

新一轮科技革命和产业变革的深入推进，加速了信息通信技术与经济社会的融合步伐，推动了经济数智化转型，特别是在新冠肺炎疫情爆发、流行、常态化疫情防控背景下，信息通信持续深化与医疗、教育、政务、办公、零售、文旅等领域的融合，拓展数智化生活、生产和社会公共治理领域新应用。加快数智化转型步伐、丰富数智生活体验，高速、安全、稳定的宽带网络发挥着举足轻重的作用。党中央、国务院高度重视宽带网络发展，“十四五”规划明确提出加快推动 5G 网络、千兆光纤网络、物联网、数据中心、工业互联网、车联网等新型基础设施建设。

千兆光纤网络基础设施建设的有序推进，不断提升网络带宽供给能力，使信息基础设施发展全面提速提质。目前，我国千兆光纤网发展已经进入快车道，据工信部统计，至 2022 年 7 月底，我国光纤接入（FTTH/O）端口达到 9.95 亿个，占互联网宽带接入端口数量的 95.4%。其中，具备千兆网络服务能力的 10G PON 端口数达 1161 万个。

“十四五”时期，我国将全面升级千兆光纤网络，持续扩大千兆光纤网络覆盖范围，加快推进“千兆城市”建设。**从政策方面看**，工信部发布《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023 年）》，进一步引导千兆光纤网升级，提升核心芯片、模块设备、器件等的研发制造水平；住建部会同工信部等 16 部门联合印发了《关于加快发展数智家庭提高居住品质的指导意见》，鼓励开展光纤到房间、光纤到桌面建设，着力提升住宅户内网络质量；各地方政府积极响应，大力推动超高速全光网络发展。**从需求层面看**，一方面，千兆光纤网络的广泛应用将激发产业创新活力，数字化生活被公众所接受，网络的全覆盖和高可用性成为刚需；另一方面，城乡公共基础设施的智能化改造和物联感知设施部署要求光纤网络的接入场景从住宅、办公场所向更多类型扩展，对网络的可靠性和智能化管理等提出要求。世界银行正在征求意见的新营商环境体系 BEE（Business Enabling Environment）将网络与供电、供水并列作为衡量营商环境的三种关键公用事业。

ODN 作为光接入网的关键设施正在加速创新迭代，预连接技术和数智化技术在 ODN 建设中的应用解决了传统 ODN 在光接入网施工过程中效率低、人员投入成本高、光纤“哑资源”管理困难等问题。这些新型 ODN 技术的广泛应用，将助力城市及重点乡镇千兆光网络规模部署，提升城镇老旧小区光接入网覆盖能力，推动全光接入网进一步向用户终端和各类智能化公共设施延伸，支持有条件地区超前布局更高速率宽带接入网络。



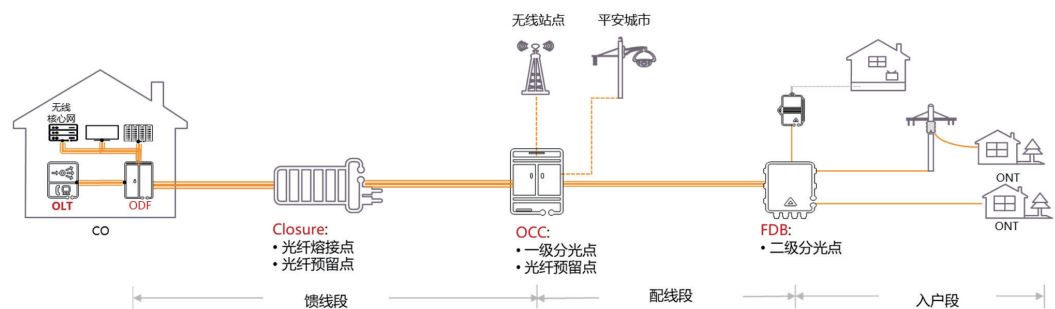
ODN 网络概述

ODN 是无源光网络 (PON, Passive Optical Network) 从通信中心机房 (CO, Central Office) 的光线路终端 (OLT, Optical Line Terminal) 到达用户侧的光网络单元 (ONU, Optical Network Unit) 或光网络终端设备 (ONT, Optical Network Terminal) 所经由的光传输通道。ODN 网络设施位于中心机房和用户侧的中间, 由多种无源设施、器件组成, 起到光纤互联或交叉连接、光纤接续、光功率分配 / 波长分配及光路的保护等作用。

◆ 2.1 网络结构

端到端的 PON 网络由“OLT—ODN—ONT”组成, 以典型的光纤到户 (Fibre-to-the-Home, FTTH) 为例, ODN 网络结构可以分成馈线段、配线段和入户段 (也称引入段) 三部分, 如图 2-1 所示。

! 图 2-1 ODN 网络结构示意图 !



ODN 网络主要由光缆、光分支器件及连接器和光配线设备设施等组成。

◆ 2.2 光缆

为使光纤达到工程应用的要求，具有良好的机械性能和环境性能，适应多种环境，便于施工敷设，将光纤和保护元件等组合成一体，这种组合体就是光缆。光缆一般由缆芯、加强元件、填充物和护层等几部分组成，根据需求还可以有防水层、缓冲层等，不同的应用场景可以采用不同结构的光缆。光缆应能承受施工过程和长期使用条件下的拉伸、压扁、冲击、弯曲、扭转等机械作用，以保证缆中光纤良好的受力状态，并且使光纤在各种环境下可靠工作。光缆可通过变换不同的光缆组成部件（如外护套）适应不同的应用场景。光缆按应用场景可分室外及室内光缆，通常室外光缆具有较强的抗机械作用性能和耐环境性能，室内光缆具有良好的阻燃性能。

◆ 2.3 光分支器件及连接器

光分支器件是 ODN 网络 P2mP（点到多点，即一个 OLT 端口连接多台 ONU/ONT）架构的核心器件。在 FTTx 中使用的光分支器件主要是光分路器，它实现了局端光功率 1: N 的分配，从而实现 OLT 端口带宽被分配到不同的最终用户。无源波分器件则将不同的波长分配给不同的用户，目前由于成本等因素应用较少。

连接器是光纤线路中可反复插拔实现光纤之间光学连接的器件，用于光路的联通和灵活配接。

◆ 2.4 光节点设备设施

光节点设备设施包括光配线架（ODF, Optical Distribution Frame）、光缆交接箱（OCC, Optical Cross-connect Cabinet）、光缆接头盒（Closure）、光缆分纤箱（FDB, Fibre Distribution Box）以及光纤墙面盒（Outlet）等接续、配线设备设施。这些设备设施通常由光纤管理系统（FMS, Fibre Management system）和保护结构组成，作为光纤线路管理的节点，承担接续、分光和配线功能，采用不同的设计或安装配件可应用于地下、地面、架空、挂墙、抱杆等不同的安装使用场景。



ODN 网络技术演进

◆ 3.1 传统 ODN 网络建设挑战

随着全球 FTTH 建设的加速进行和光纤宽带在生产生活中发挥着越来越重要的作用，ODN 光纤网络作为 FTTH 建设中最关键和投资最大的部分，当前建设成本高、施工难度大和运维管理困难是影响宽带网络进一步发展的主要难题。

3.1.1 建设阶段

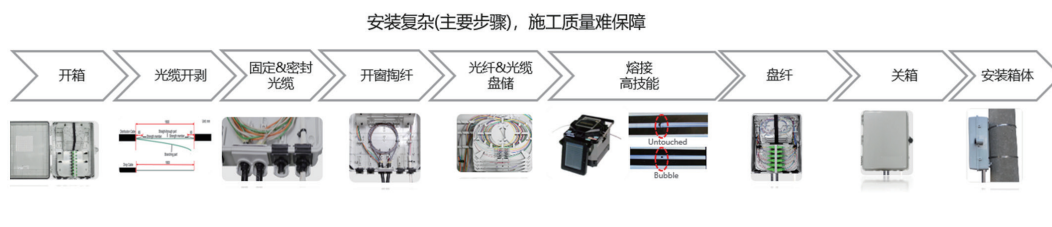
3.1.1.1 土建工程费用高

在 ODN 网络建设中，除了设备和工程敷设费用外，土建挖沟费用占比很高，是影响 FTTH 建设成本的关键要素。以南非为例，该国家全程采用地下管道布放 FTTH 光纤线路，且管道需要全新铺设，人工挖沟带来的工程量巨大，且全程管道铺设需使用大量砖砌水泥人井，施工复杂，工程量和建设成本整体较高。据了解南非 FTTH 每用户成本高达 1000 美金，其中土建挖沟和入户占据了总成本的 70%。同时施工周期长，影响运营商 FTTH 建设效率和业务开展。提高管孔利用效率、利旧既有管孔资源是降低土建成本的重要方向。此外，利用通信杆路架空建设 ODN 网络的综合成本低于地下管道铺设，但是在城镇地区架空铺设光缆影响城市美观，《国务院办公厅关于全面推进城镇老旧小区改造工作的指导意见》（国办发〔2020〕23 号）将架空线规整（入地）作为城镇老旧小区改造的基础类改造内容，多地市也将架空线入地纳入了城市更新规划并开展了专项整治行动。而在农村和偏远乡镇地区的宽带网络建设中，在非集中居住区通过运营商间共建共享通信杆路或共享电力杆建设架空光缆线路仍是降低土建成本的优选方案，网络可维护性和扩展性也更高。

3.1.1.2 光纤连接复杂度高

传统 ODN 网络建设中，从机房到用户侧，在光纤接续点和配线设备设施处均需现场对光纤进行人工连接操作。光纤是包层 125 微米，芯层仅约 9 微米的石英波导，其熔接和保护比铜线对接复杂很多。如图 3-1 所示，每个光纤接续点都需要经过光缆开剥、光缆固定、熔纤施工、光纤盘存保护等多个步骤。现场熔接操作需要专业的设备和熟练的技能人员，在复杂的现场操作环境下熔纤的质量也往往令人堪忧。在海外部分欠发达地区，光纤接续往往成为 FTTH 网络建设的瓶颈，而在发达国家，光纤接续也往往带来较高的人力成本和较长的施工周期。

❗ 图 3-1 光纤连接步骤 ❗

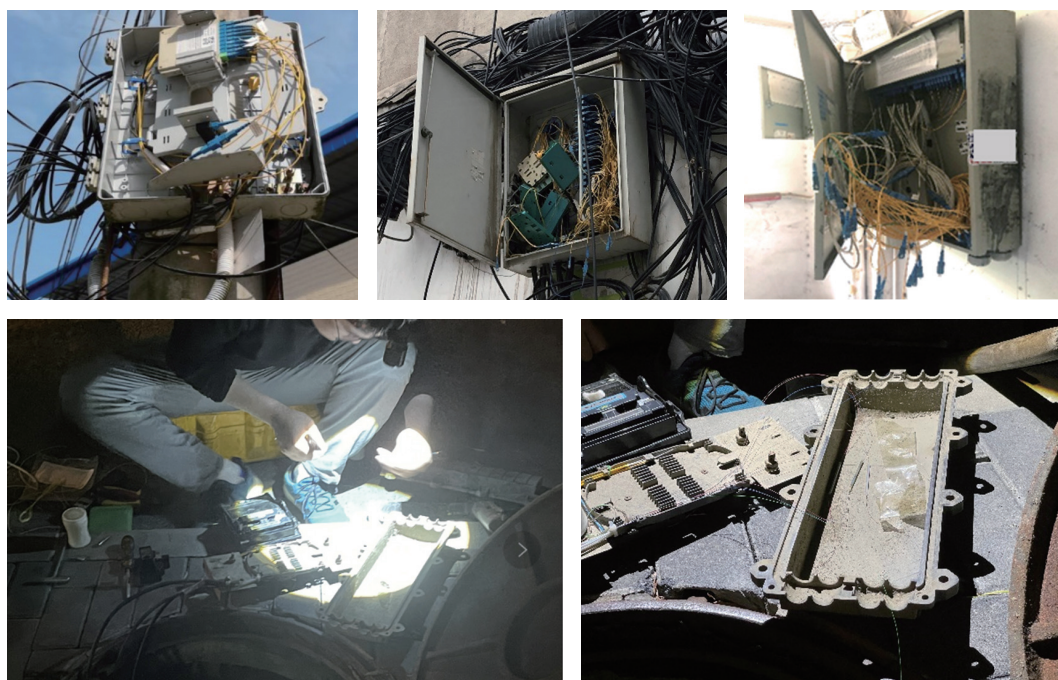


3.1.1 装维阶段

3.1.2.1 装机难度大, 装维操作影响网络质量

传统 ODN 网络装机时, 每次增加或替换用户光缆都需要打开光缆分纤箱, 现场熔纤或制作冷接连接头, 然后再将入户光缆在盒体内部固定好并重新密闭盒体。一般经过 3-5 年的装维操作, 箱体可能损坏导致保护性能下降, 严重的甚至会缺失壳体部件或由于门锁损坏箱门敞开, 箱体内部失去保护造成连接头脏污, 导致光纤线路性能下降或连接中断, 如图 3-2 所示; 同时, 经多年维护, 光缆分纤箱内部跳纤混乱, 难以整理清晰, 给维护带来极大困难。

❗ 图 3-2 传统 ODN 设备长期运维后现场图 ❗



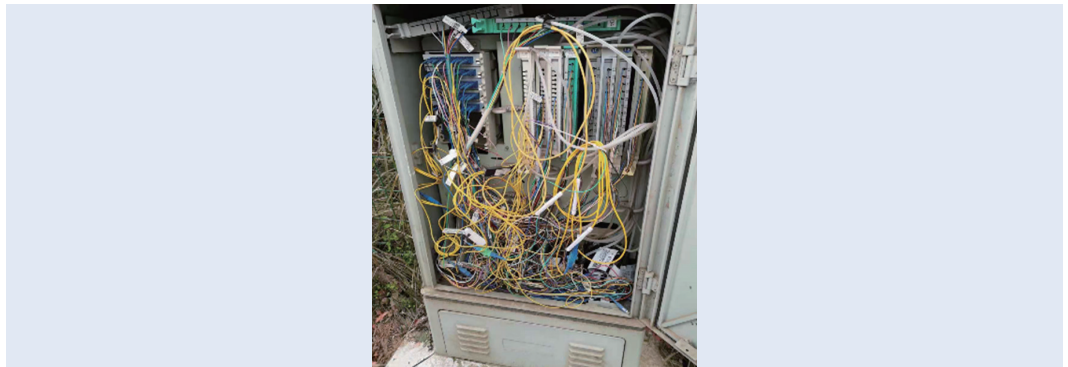


3.1.2.2 资源管理困难，用户离网后光纤端口易沉默

ODN 光纤网络设施属于“哑资源”，传统 ODN 网络中配线设备设施内的光端口连接状态和关系难以采集，一般会在端口跳接位置设置标签并在箱体、盒体内附记录表，由装维人员手工记录并事后将连接关系录入系统。长期运维后，标签脱落和褪色严重、端口调度混乱，跳接关系无法梳理，如图 3-3 所示。据调研统计，一些国外运营商手动录入的光纤端口准确率低于 70%。

另外，由于 ODN 配线设备设施的光端口没有和用户 ONU/ONT 设备进行关联绑定，用户申请退网后无法将光端口释放的信息及时反馈给资源管理系统，导致经常出现用户拆机不拆线的情况。从全球来看，部分运营商资源沉默率高达 10%-20%，浪费前期建设投资。

❗ 图 3-3 传统 ODN 资源管理困难 ❗



◆ 3.2 ODN 网络演进要求

传统 ODN 网络建设面临的诸多挑战、宽带网络带宽的升级预期、网络覆盖率的进一步提升，以及高可用性、高可靠性等网络高质量发展需求都对 ODN 网络建设向下一代演进提出要求。

3.2.1 灵活性、可扩展性

ODN 网络作为光网络物理基础设施，除了满足当前 EPON/GPON/10GPON 业务的需求外，从组网设计和链路功率预算方面需要考虑未来向双模（GPON+ 非对称 10G GPON）、三模（GPON+ 对称 10G GPON+ 非对称 10G GPON）和 50G PON 的业务平滑演进需求。全光演进场景下，不但要考虑 FTTH 业务，还需要综合考虑家庭、办公和智能化基础设施业务，避免光纤光缆重复铺设，节省投资和上线时间（TTM，Time to Market）。这就要求 ODN 网络支持灵活建设、灵活调度和灵活扩容。



3.2.2 易部署

ODN 大部分都是外线施工（Outside Plant），涉及的工程场景复杂，施工人员的素质参差不齐，导致部署周期长。随着宽带网络的进一步普及，ODN 部署应越简单越好，对施工人员的技能要求应越低越好，便于快速部署，缩短 TTM，实现网络快速快盈。

3.2.3 资源精准管理

ODN 网络通过光能传输信号，传输距离远且耗能少，但是整个网络由无源设备设施组成，管理困难。ODN 网络资源的精准管理是当前网络数字化、智能化管理的基本要求，也为数字孪生城市等上层应用提供设施资源基础数据。世界银行新营商环境体系 BEE 中也建议建立通信等管网基础设施的资源数据库。

3.2.4 易维护

ODN 网络应具备高可维护性，在网络出问题时，能快速定位，快速修复故障，提高网络可用性。

3.2.5 高可靠

ODN 是全光接入网业务发展的基石，在全生命周期内，应具备高可靠性，做到“一次铺设，二十年不动”，避免因可靠性问题影响用户体验或造成用户损失，或因需要重建网络浪费投资。

◆ 3.3 ODN 代际划分

ODN 作为光纤基础设施，产品本身复杂度不高，但其作为 FTTH 建设投资最大，建设最复杂的环节，如何降低其施工和运维难度一直是 ODN 技术演进中行业持续研究的课题。本白皮书基于我国 ODN 网络建设解决方案现状和技术演进，结合国际国外相关标准组织研究进展，定义了如图 3-4 所示的 ODN 代际划分。

图 3-4 ODN 代际划分



3.3.2 第一代 ODN (传统 ODN)

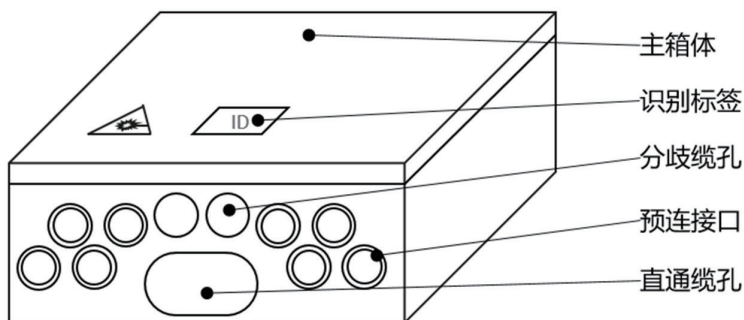
传统 ODN 伴随 FTTH 发展至今已有 30 余年，是当今应用最多的光纤宽带接入建网方式。传统 ODN 的主干缆（馈线段和配线段光缆）和入户段缆均采用需现场开剥进行光纤接续或成端的光缆，室外和室内施工均需要将节点配线设备箱盒打开，进行复杂的光缆安装、接续操作。可以将传统 ODN 称为第一代 ODN。

3.3.3 第二代 ODN

为了满足 ODN 网络建设和管理质量提升需求，随着技术的不断创新，ODN 网络建设模式正在迎来变革。采用预装连接器的光缆、光节点设备设施替代传统的光缆、设备设施可避免现场光纤熔接或冷接，大大降低装维难度，是当前 ODN 网络建设解决方案向下一代演进的重要方向。根据预连接技术应用范围的不同，可将预连接方案分为入户段预连接、入户及配线段预连接和全程预连接。

入户段预连接方案中的馈线段和配线段与第一代 ODN 一样采用传统光缆，只在入户段采用了预连接引入光缆实现快速装维，目前在国内已经得到了广泛的应用。进一步地，可将光缆分纤箱的入户光端口外置，入户光缆在工厂做成高环境防护等级（如 IP68）的室外连接器，现场无需开盒即可直接将入户光缆与分纤箱的外置端口连接，快速开通业务且不会影响其他用户。端口外置光缆分纤箱的典型结构如图 3-5 所示。

图 3-5 入户段预连接 ODN 的光缆分纤箱典型结构



随着预连接技术的不断成熟，应用范围从入户段不断地向 CO 机房延伸，逐步实现了 FTTH 配线段预连接和全程预连接建网，进而结合不等比分光等技术形成了不同于第一代 ODN 的组网方案。在基础设施数字化、智能化方面，预连接技术与 AI 图像识别技术相结合，使得 ODN 哑资源管理难题在一定程度上得以解决。本白皮书将以预连接 ODN 技术为代表的 ODN 网络建设解决方案称为第二代 ODN，也即下一代 ODN。

3.3.4 ODN 进一步发展

ODN 网络的无源特性是设施低成本建设的优势来源，但随之而来的“哑资源”运维管理难题也是行业长期以来的痛点。通过数智化创新技术的应用解决“哑资源”问题，是 ODN 进一步发展的重要方向。目前已经出现了“光虹膜”技术，该技术通过在分光器输出端雕刻“微环”结构，用以改变分光器输出端的光波相位，结合 AI 算法与相干分析，使得传统无源光网具备“可识别 ID”的特性，可对光路进行实时拓扑还原和光路诊断分析。该技术在我国目前已经开始用于存量 ODN 的数智化改造试点，随着技术的成熟，未来将与更多的场景相结合，有着广泛的应用前景。“光虹膜”等数智化技术有望成为 ODN 进一步发展的关键技术，在未来与其他技术相结合形成第三代 ODN 解决方案。

3.3.5 总结

传统 ODN 网络建设模式已固化多年，长期面临着诸多问题和挑战，难以适应网络全覆盖和高质量发展的新要求。当前 ODN 网络建设正处于从第一代 ODN 向以预连接技术为代表的第二代 ODN 演进的变革期，面向 ODN 进一步发展，“光虹膜”等数智化 ODN 技术也已开始商业试用。坚持创新引领，ODN 产业正在形成“建设一代、孵化一代、探索一代”的递进格局。本白皮书后续章节将详细介绍预连接等第二代 ODN 技术解决方案，并对潜在的第三代 ODN 数智化愿景进行展望。



预连接 ODN 解决方案

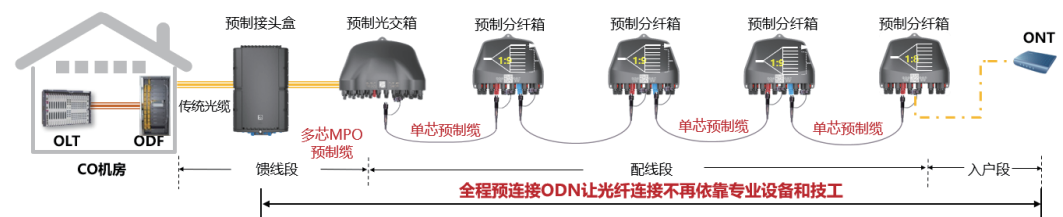
传统 ODN 建网最大的困难是每个 ODN 节点设备设施与光缆连接都需要进行复杂的光缆开剥、固定和熔接操作，费时费力。为了减少现场熔纤，预连接 ODN 解决方案应运而生，提高了现场安装的速度，也被称为快速 ODN 方案（Quick ODN）。目前预连接方案已经可以用于 FTTH 的全程建网。

◆ 4.1 预连接 ODN 解决方案价值

如图 4-1 所示，预连接 ODN 解决方案采用双端预装连接器的光缆组件替代传统光缆，如网线一样简单地把 ODN 节点设备设施连接起来，大大提升 ODN 施工效率，预连接 ODN 解决方案的核心价值如下：

人力成本降低	施工效率提升	可靠性提升
技工需求变为普工需求，无需专业的熔接设备，人力成本降低 30% 以上。	光缆与节点设备设施连接操作简单，可将施工时长由 90 分钟缩短到 15 分钟，同时由于光缆和节点为分段式，可以并行施工。	全密封不可开启的盒体在工厂组装好，现场只需要将盒子作为一体化器件外部插接预制光缆组件，后续运维也无需打开盒子，大大提升节点设备设施的可靠性。

图 4-1 预连接 ODN 典型路由图



预连接 ODN 解决方案经过十余年的发展演进，目前在拉美、北美、西欧和中东北非已大规模应用。据统计，2021 年采用预连接 ODN 的建网端口数已占全球 ODN 建网总端口的 20%，成为 ODN 主流建网方案之一。欧洲电信标准化协会（ETSI）于 2021 年发布了研究报告 ETSI TR 103 775《光分配网络 (ODN) 的快速建设和数字化》，详细介绍了预连接 ODN 建设及数字化解决方案。

在国际电信联盟标准 ITU-T L.250《光接入网拓扑结构》正在进行的修订中，对预连接 ODN 与传统 ODN 特点进行了比较，预连接 ODN 解决方案具有多方面优势，见表 1。

表 1 预连接 ODN 与传统 ODN 特点比较（ITU-T L.250 修订稿）

	传统 ODN	入户预连接 ODN	全程预连接 ODN
部署速度	慢	慢	快
用户光缆安装	慢	快	快
线路敷设方式	架空、管道 通道、直埋	架空、管道 通道、直埋	架空、管道、通道
规划设计工作	低	中	高
故障风险	中 / 高	中	低
现场熔接操作	高	中 / 高	低
施工技能需求	高	中	低
成本递延能力	低	中	高

◆ 4.2 预连接 ODN 关键技术

预连接 ODN (Quick ODN) 解决方案的目标是 ODN 网络建设全程使用预装连接器的线缆、设备设施产品，在现场施工时不熔接光纤。预连接技术、不等比分光技术、全密封箱盒技术是预连接 ODN 的三项关键技术。

4.2.1 关键技术 1：预连接技术

在 ODN 网络建设施工中，光纤熔接一直是技术含量较高的工作，需要训练有素的熔纤技工操作，这使得光缆部署施工成本高、进度慢，熔接也经常成为施工进度的瓶颈。为此，早在 2000 年时业界就提出预连接的概念并逐步产品化。预连接是将光缆在工厂预制好满足使



用环境要求的连接头，形成预制光缆组件，施工现场将预制连接头直接插入节点设备设施的适配器上，实现光纤对接功能。结合室外增强型连接器的使用，预连接技术可以使光纤连接直接在节点设备外进行，不需要反复打开盒体。

预连接技术使得 ODN 部署可以使用多根单独的光缆进行分段部署，光缆和节点设备设施解耦，可以并行施工，大幅度提升部署效率。预连接技术替代了传统 ODN 一根光缆串接多个节点设备、在不同的节点位置进行掏纤熔纤的复杂操作。

为了满足不同场景组网需求，室外预制连接器可使用多芯 MPO (Multi-fibre Push On) 连接器、双芯 LC 连接器、单芯 SC 连接器等多种类型的标准化连接器。预连接技术替代现场熔纤实现光纤对接，使得光纤活动连接点增多，但由于网络的覆盖范围受到链路总损耗的限制，这就要求降低连接器的损耗，达到低损甚至超低损级别。例如，预制单芯 / 双芯连接器的损耗一般要控制在 0.15dB 以内，而多芯预制 MPO 连接器的损耗一般需要控制在 0.25dB 以内。考虑到室外特别是地下人（手）井、管道的使用场景，要求室外预连接头需满足 IP68 防尘防水、高耦合力、易现场清洁运维、长期可靠等性能要求，以保障连接点性能的长期稳定。

预连接技术的特点和价值如下：

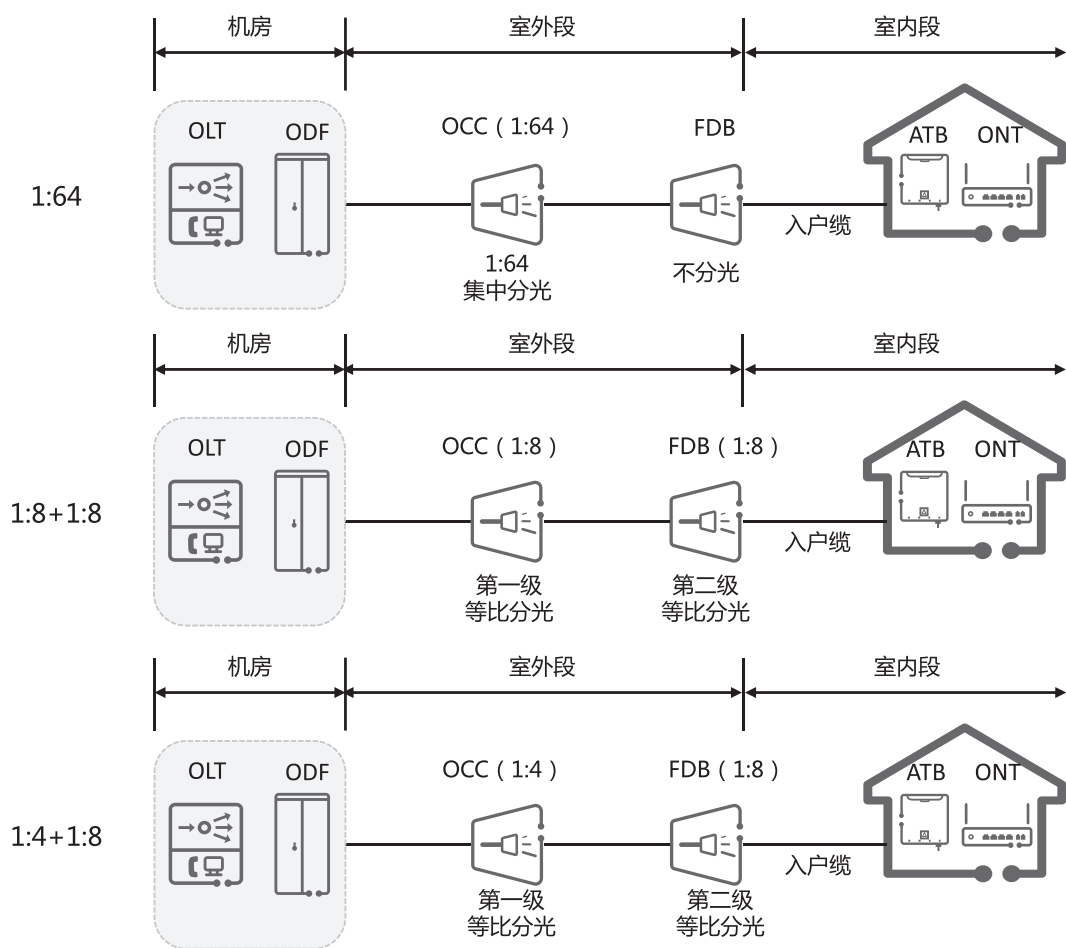
- 1 无需熔接，无需专业技术工人，普通工人即可实现光缆的接续工作；
- 2 所有节点设备设施上适配器可外置，光纤连接时无需打开盒体；
- 3 施工现场即插即用，省去熔接场景复杂的光缆开剥和光纤管理工作，高效施工；
- 4 节点设备设施和预连接光缆全解耦，可以并行施工。

预制光缆组件、节点设备上的室外预制连接器，特别是连接器保护壳接口间的相互适配是预连接技术推广应用的前提，需要制定相关标准进行统一。

4.2.2 关键技术 2：不等比分光技术

众所周知，光分路器是 ODN 网络最核心的无源光器件，OLT 光口输出的光信号通过单根光纤传递到指定位置后通过光分路器分支到多根光纤，从而实现 1 个 PON 口接入多个用户的架构，通过复用 OLT 设备和馈线段、配线段光缆大幅降低建网成本。传统 PON 网络总分光比一般为 1:64 和 1:32 两种，分光示意如图 4-2 所示，常采用 2 级分光模式，典型分光组合有 1:8 + 1:8、1:4+1:8 和 1:4 + 1:16。

图 4-2 预连接 ODN 典型路由图

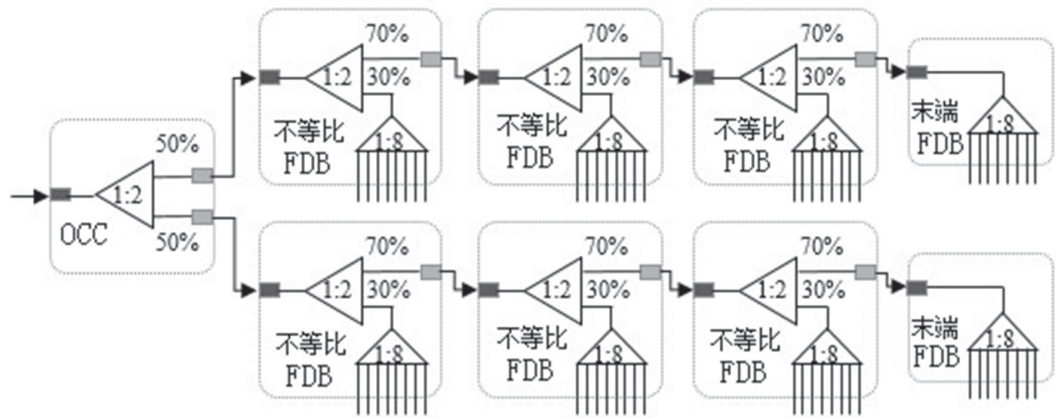


在实际网络建设过程中建设单位发现传统 ODN 部署非常繁琐，工作量最大的是在配线段，也就是光缆分纤箱的布放。由于同一个一级光分路器下面有多个同级光缆分纤箱，而为了复用光缆，这些分纤箱通常用一根多芯光缆（12F 或 24F）串联起来。每一个分纤箱的部署，都需要将多芯光缆开剥，并找到对应的纤芯进行熔纤操作，同时还要保证其余的纤芯不被破坏，整个过程操作耗时费力。

基于不等比光分路器的组网方案可有效解决传统 ODN 布放存在的问题。该方案改变了传统等比分光的组网逻辑，在典型组网场景中它在 1:8 光分路器前面增加了 1 个 1:2 不等比光分路器，该光分路器按照不等比如 70% 和 30% 的比例将输入光功率分成为两份，30% 功率分配到一个 1:8 光分路器，70% 功率传递到下一级光缆分纤箱。该方案一条链路最多可以串联 4 个 8 口光缆分纤箱，因此一条链路共下挂 32 个用户，实现 1:32 的总分光比，如果需要通过实现 1:64 分光比，可在光交箱位置再放置 1 个等比的 1:2 光分路器，每个输出端口下各挂一条 32 用户的链路，实现 1:64 的总分光比。该方案组网原理图如图 4-3 所示。



图 4-3 不等比分光示意图



不等比分光组网方案的优点在于：

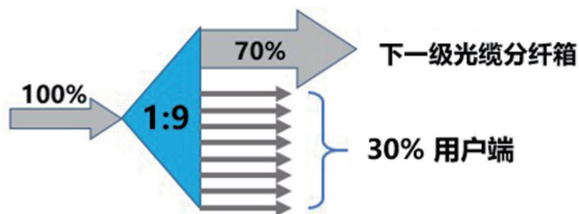
- 1 通过采用不等比分光技术，可以采用单芯 / 双芯光缆替代原 12 芯或 24 芯多芯光缆串联多个光缆分纤箱，大量节省光纤资源，成本更低。
- 2 在单芯 / 双芯光缆的基础上结合预连接技术，如图 4-4 所示，可以省去原来在分纤箱处开剥光缆、开箱熔接和管理光缆的工作，可以提升分纤箱施工效率约 70%。

图 4-4 基于预连接技术的不等比组网示意图



为了减少光缆分纤箱中器件的数量，降低连接损耗，提高系统可靠性，进一步地将上述 1:2 不等比光分路器和 1:8 等比光分路器集成到 1 个 PLC 芯片中，形成如图 4-5 所示的 1:9 不等比光分路器。根据不同的组网场景需求，也可以选用其他比例如 1:5（1 主干 4 分支）和 1:17（1 主干 16 分支）的集成不等比光分路器。

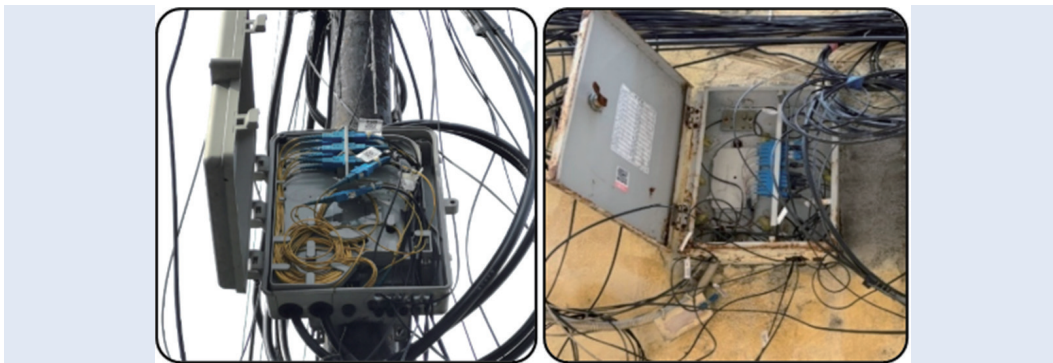
! 图 4-5 1:9 不等比光分路器原理图 !



4.2.3 关键技术 3：全密封箱盒技术

传统 ODN 网络建设过程中，需要在每个接续或分光点打开节点设备设施箱盒，现场完成光缆固定、熔接光纤、安装光分路器等操作。运维过程中每次接入新的用户也需要重新打开光缆分纤箱，再次进行入户引入缆固定、熔接和盘留光纤等操作。施工过程对操作人员技能要求高、操作时间长，施工质量随操作人员技能熟练程度波动大。即使熟练工人小心操作，多次开盒和熔接的频繁操作也容易干扰其他用户的网络连接质量。另外，可开启的箱盒容易被人为破坏或忘记关闭，使内部光器件暴露在室外，长期遭受日晒雨淋和灰尘侵袭，导致器件污损网络连接质量降低。光缆分纤箱开盖的场景如图 4-6 所示。

! 图 4-6 传统 ODN 光缆分纤箱开盖运维中存在的问题 !



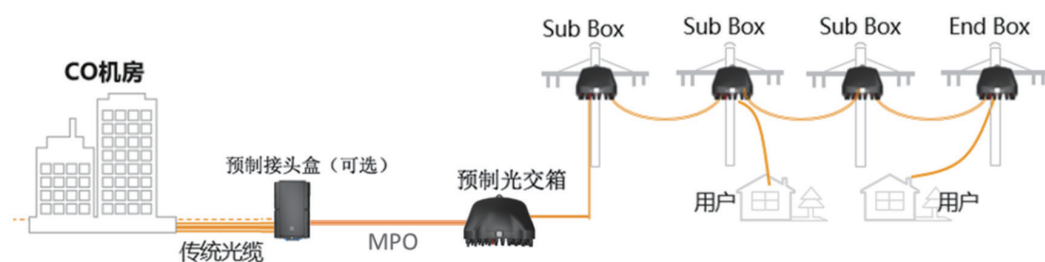
针对传统 ODN 开箱带来的质量问题，业界提出了全密封箱盒技术。全密封箱盒在工厂生产线上组装好内部光器件后彻底密封，只外露出光纤对接接口。现场施工中无需将箱体打开，只需进行定位安装和通过外部接口插接预连接光缆组件。平时空置接口通过防尘帽保护，后续运维开通新的用户时，也只需要插接新的入户缆即可。为减少运维工作量提高恢复速度，结合现场具体情况，可采用整个箱盒一体化的产品，箱盒故障后只换不修；也可采用分光器可替换的设计，不进行整体拆卸。



◆ 4.3 全程预连接 ODN 网络设施组成

如图 4-7 所示，全程预连接 ODN 网络一般由三种预制节点设备（预制接头盒、预制光交箱、预制分纤盒）和三种预制光缆组件（室外 MPO 光缆组件、单芯 / 双芯配线光缆组件和引入光缆组件）组成。由于全程预连接 ODN 一般采用多级分光的级联结构，光缆、节点设备及其中分光器件的故障都会导致后续用户的服务中断，因此所采用的预制节点设备和预制光缆组件均需满足相应使用环境下的质量和可靠性要求。

! 图 4-7 全程预连接 ODN 典型网络结构 !



4.3.1 预制接头盒

预制接头盒用在需要将传统 ODN 网络与预连接 ODN 网络转接时，它的功能是将从机房出来的传统光缆转换为室外 MPO 光缆组件。因此预制接头盒需要支持开闭，传统光缆接入预制接头盒，与盒内多芯 MPO 连接器的尾纤熔接，然后通过外置的 MPO 连接器输出，通过室外 MPO 光缆组件与后续的预连接 ODN 网络连接。

4.3.2 预制光交箱

预制光交箱是 ODN 网络中馈线段和配线段的转接点，实现室外 MPO 光缆组件到单芯 / 双芯配线光缆组件之间的转换，也称为 Hub Box，其作用类似传统 ODN 网络中的光缆交接箱。根据网络架构对分光比的要求，可以在预制光交箱中配置 1:2 光分路器，也可以不配置光分路器。

预制光交箱一般是全密封的，上行可以通过室外 MPO 光缆组件与预制接头盒连接，输出端通常提供 8 个外置单芯光端口，每个输出口可以连接一条预端接 ODN 链（4 级不等比分光预制分纤盒）。内置 4 个 1:2 光分路器的预制光交箱满配可连接 256 个用户。

预制光交箱通常进行多个级联以增加覆盖范围。如果采用 MPO 光缆组件级联，由于主流 MPO 光缆组件是 12 芯，可以实现三级级联，每一级预制光交箱占用 4 芯。

4.3.3 预制分纤盒

预制分纤盒运用在配线段，按照是否可向下级联可以分为预制级联盒（Sub Box）和预制末端盒（End Box）。预制分纤盒可提供 4、8 或 16 个用户接口，Sub Box 中内置不等比分光分路器，可连接用户和级联，End Box 中内置等比分光分路器，只能连接用户不再向下级级联。

预制分纤盒是全密封的，输入输出都是外置单芯光端口。以 Sub Box 中内置 1:9 不等比光分路器为例，70% 的光功率输出到级联口，通过单芯配线光缆组件与下一级 Sub Box 连接，30% 的光功率分配给 8 个用户。End Box 中内置 1:8 等比光分路器，将光功率分配给 8 个用户。由于光功率预算的限制，1:9 不等比方案中 Sub Box 一般可级联 3 次，即每条链包含 3 个 Sub Box 和 1 个 End Box。

4.3.4 室外 MPO 光缆组件

室外 MPO 光缆组件可用在馈线段和配线段，等同于传统 ODN 网络中的主干光缆。光缆组件通常是 12 芯，在光缆的单端或双端预端接室外增强型 MPO 连接器。单端 MPO 光缆组件用于连接 ODF 和预制接头盒，双端 MPO 光缆组件用于连接预制接头盒和预制光交箱、以及预制光交箱之间级联。使用 MPO 光缆组件，还可在支持 FTTH 的同时，为 SPN、OTN 等传输业务提供纤芯，满足楼宇、村落等场景多业务接入需求。

4.3.5 单芯 / 双芯配线光缆组件

单芯 / 双芯配线光缆组件运用在配线段，等同于传统 ODN 网络中的配线光缆，但芯数大大降低，是在单芯 / 双芯光缆的双端都预端接了室外增强型连接器，可直接插接到预制光交箱或预制分纤盒的外置光端口上，用于连接预制光交箱和预制分纤盒、以及预制分纤盒之间级联。

4.3.6 引入光缆组件

引入光缆组件用在引入段，连接用户接入点和用户 ONU/ONT。引入光缆组件一般是单芯蝶形引入光缆，一端预端接室外增强型连接器，与预制分纤盒连接，另一端预端接普通连接器或不带连接器通过熔接或现场组装连接器（FMC, Field Mountable Connector）与用户 ONU/ONT 连接。引入光缆组件的使用场景最复杂，一般需要从室外穿墙进入房屋地下室或楼道，对高层用户还需要穿过弱电井才能到达用户所在的楼层。

◆ 4.4 全程预连接 ODN 典型组网方案

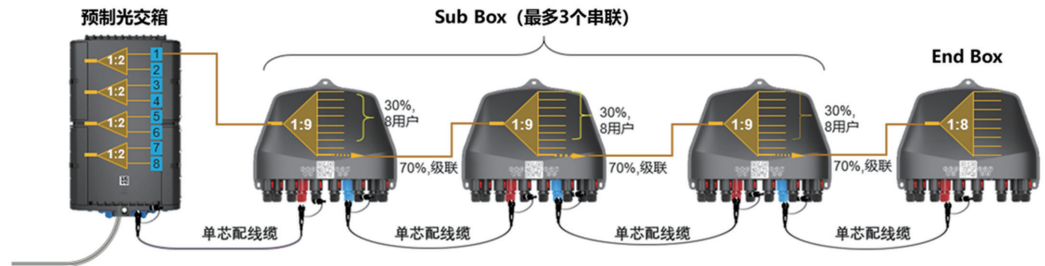
与传统 ODN 组网一样，根据不同的用户密度场景，全程预连接 ODN 常用的组网方案中预制分纤盒常采用 8 用户端口、4 用户端口和 16 用户端口 3 种，预制级联盒分别采用 1:9、1:5 和 1:17 不等比光分路器实现。

4.4.1 中等用户密度场景组网方案

全程预连接 ODN 方案中 8 用户端口预制分纤盒的应用是最典型的，“预制光交箱（1:2）+N（ $N \leq 3$ ）级预制级联盒（1:9）+ 预制末端盒（1:8）”是最常用、适用范围最广的组网方案，可适用于多数城区多层住宅、商场、乡镇 / 村落等中等用户密度场景。方案模型如图 4-8 所示：



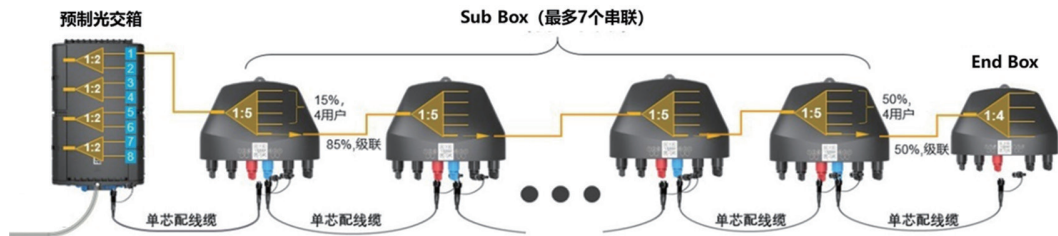
图 4-8 中等用户密度场景全程预连接 ODN 典型组网



4.4.2 低用户密度场景组网方案

低用户密度场景通常采用“预制光交箱 (1:2) + N ($N \leq 7$) 级预制级联盒 (1:5) + 预制末端盒 (1:4)”组网方案，适用于用户比较稀少且分布范围广的场景，如山区村落。方案模型如图 4-9 所示：

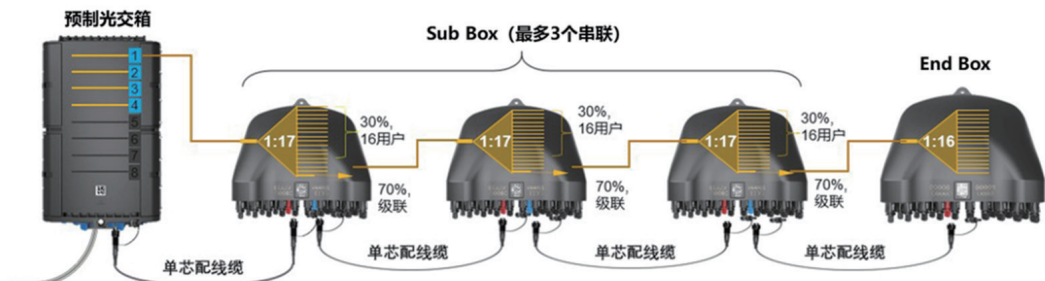
图 4-9 低用户密度场景全程预连接 ODN 典型组网



4.4.3 高用户密度场景组网方案

高用户密度场景通常采用“预制光交箱 (不分光) + N ($N \leq 3$) 级预制级联盒 (1:17) + 预制末端盒 (1:16)”组网方案，适用于用户比较集中且密度大的场景，如高层公寓。方案模型如图 4-10 所示：

图 4-10 高用户密度场景全程预连接 ODN 典型组网





预连接 ODN 解决方案实施

◆ 5.1 预连接 ODN 网络设计

5.1.1 概述

传统 ODN 网络建设采用非预端接光缆与节点设备设施进行连接，光缆可现场裁剪，只需要预估大致的光缆长度即可备货施工。而预连接 ODN 由于采用了预装连接器光缆组件进行链式组网，每条光缆组件都是定长的，因此需先对网络进行粗略线路设计，评估每种长度的光缆组件数量后才能启动备货。在实际项目中，可以采用边设计、边备货、边施工的方式解决此限制。预连接 ODN 解决方案的设计至关重要，合理的设计可以减少光缆组件的过分冗余，并减少后续部署的重复路由。为方便备货，同一个项目中同类型预制光缆组件的长度种类建议不超过 5 种。必要时也可采用增加光缆盘留的方式进一步减少同项目光缆长度种类，减少设计工作负担。

5.1.2 网络设计思路

预连接 ODN 设计环节是基于节点箱盒安装位置和光缆路由工勘可达的设计，采用自下而上的设计思路，将用户连接到 OLT。以典型的 1:9 不等比级联方案为例，首先按照工勘确定的预制分纤盒安装位置以及可达路由，对预制分纤盒做成链分区设计，每 4 个预制分纤盒连接为一条链。然后根据多条链的交汇位置情况确定预制光交箱安装位置，预制光交箱安装位置确定后，沿路由走向将多个光交箱汇聚到预制接头盒或 CO，预制接头盒安装位置的选择应尽量减少配线段光缆和馈线段光缆的重叠。网络设计总体流程图和网络设计示意图分别如图 5-1 和图 5-2 所示。

! 图 5-1 预连接 ODN 网络设计总体流程 !

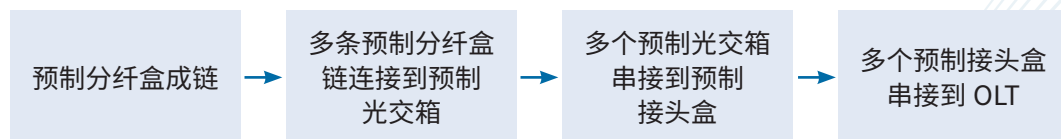
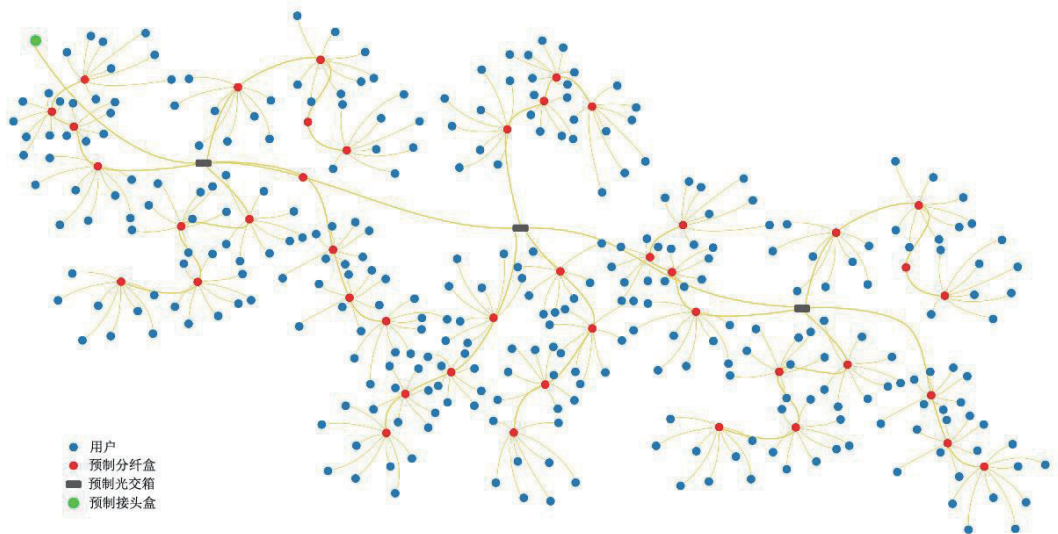




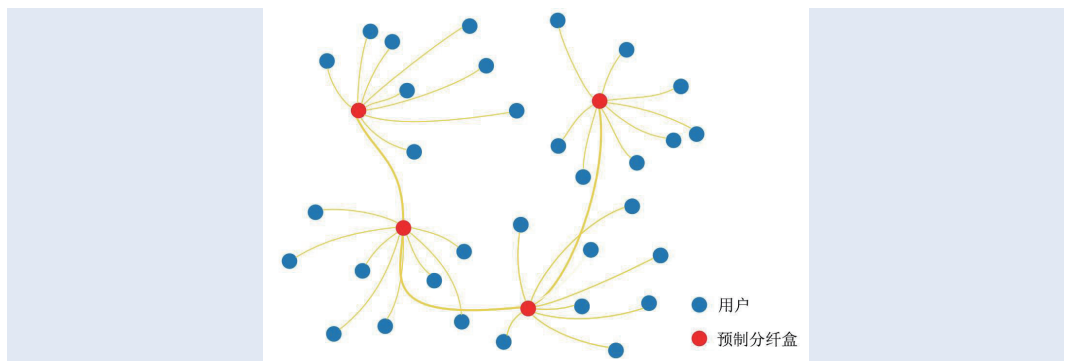
图 5-2 预连接 ODN 网络设计示意图



5.1.3 预制分纤盒成链设计原则

根据用户位置分布和引入光缆可达路由，在邻近的 8 个用户附近分配一个预制分纤盒。然后沿分纤盒位置走向和配线光缆可达路由，将每 4 个预制分纤盒串联成一条链。

图 5-3 预制分纤盒成链设计示意图

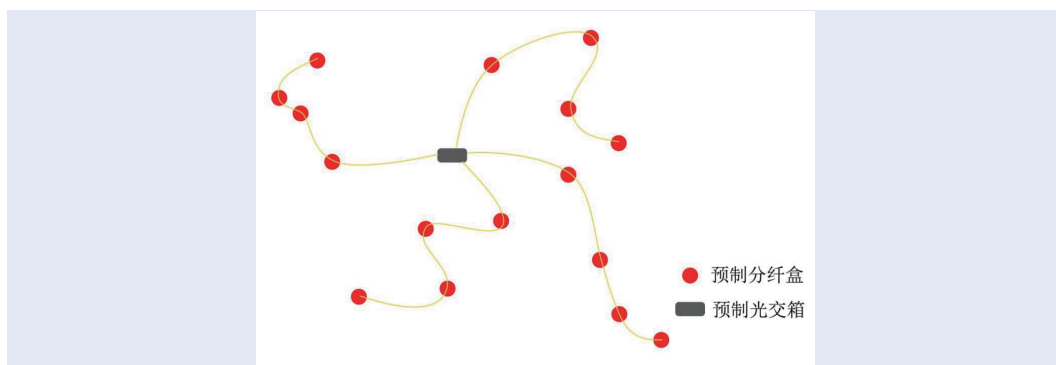


5.1.4 分纤盒链与预制光交箱连接设计原则

将每 4 条分纤盒链连接到一个预制光交箱，预制光交箱一般在分纤盒链的交汇位置。

预制光交箱一般可以支持下挂最多 8 条分纤盒链。在实际中由于道路方向以及为了减少重复路由，建议下挂链数为 4-6 个，剩余链路用于扩容。

图 5-4 分纤盒链连接预制光交箱设计示意图



5.1.5 预制光交箱汇聚设计原则

预制光交箱安装位置确定后，沿路由将 3 个预制光交箱汇聚到预制接头盒点，预制接头盒安装点位的选择需尽量减少配线缆和馈线缆的重叠。

最后，将预制接头盒根据可达路由连接到 CO，即可完成从端到端的 ODN 链路。预制接头盒到预制光交箱、预制光交箱之间级联都是采用室外 MPO 光缆组件，预制接头盒到 CO 之间可采用非预装连接器的传统光缆，在预制接头盒中熔接。

图 5-5 预制光交箱汇聚设计示意图

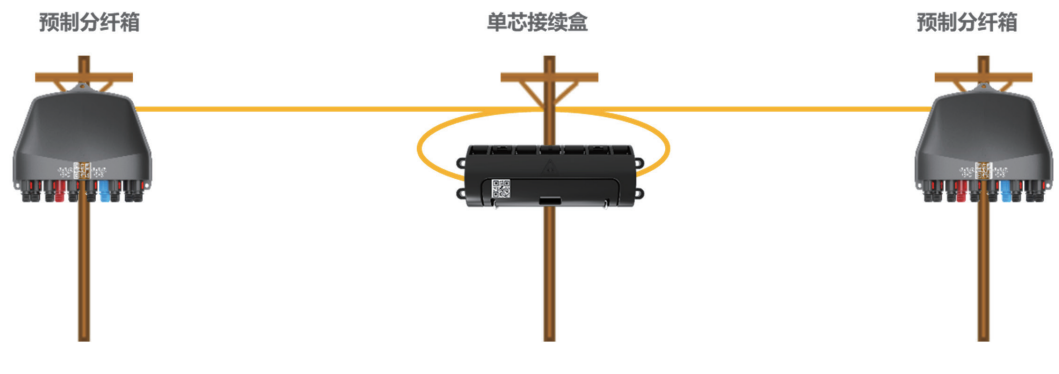


5.1.6 缆长选择和配置原则

预连接 ODN 方案中室外 MPO 光缆组件长度范围一般在 100m~1000m 之间，每 100m 为一个梯度；单芯配线光缆组件长度范围一般在 50m~500m 之间，每 50m 为一个梯度，在实际项目中如需要更长的光缆段时，可以采用 MPO 或单芯接续盒进行最多一次的延长接续。



图 5-6 光缆段延长接续示意图



5.1.7 各施工场景的设施选择

5.1.7.1 室外架空场景

由于需要在带有连接器的状态下施工布放光缆，预连接 ODN 最适用的场景是室外架空场景。因此，在有可利用通信 / 电力杆路的区域，可优选择架空施工，预制节点箱盒挂在杆上，预制光缆组件架空布放。相比其他施工方式，架空施工无需挖沟、穿管等，施工工作量少，通常成本最低。而且在施工过程中不需开挖道路等基础设施，对施工区域居民干扰较少。但是，需要关注光缆布放的规整美观。架空场景节点箱盒和光缆都挂在空中，长期经受风吹日晒雨淋，使用的产品需满足抗紫外线要求，防护性能满足 IP65 防护等级。光缆架空时承受自重和弧垂张力，宜选择自承式架空缆。

5.1.7.2 室外管道场景

在室外管道施工场景中，预制节点箱盒安装在人（手）井中，预制光缆穿管道布放，如图 5-7 所示。地下场景存在长期浸水及有污水等腐蚀性物质的问题，使用的产品防护性能需满足 IP68 防护等级，同时要能耐油污、耐化学腐蚀，对产品性能要求更高。此外，由于管道尺寸、资源有限，为保证顺利穿管施工且保证光学性能长期稳定，对预制光缆组件的连接器尺寸、抗拉力等有较高要求。

图 5-7 室外管道应用场景

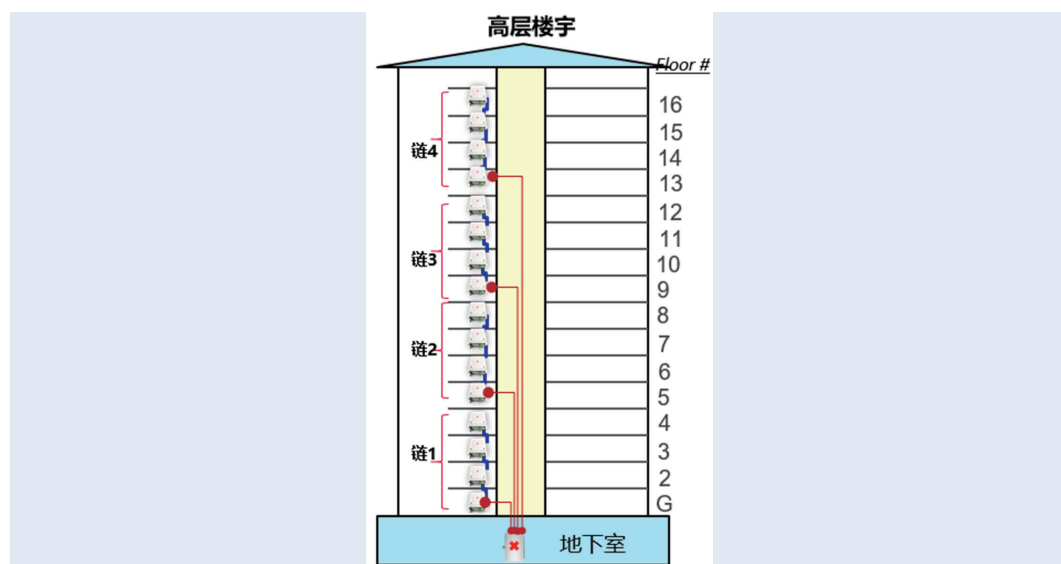


挖沟、布放管道是管道光缆线路建设工作中周期最长、工作量最大的部分，而且开挖施工对环境、居民的影响较大。室外管道预连接方案采用小芯数光缆，可高效利用旧有管道，免除挖沟、布放管道施工，最大程度发挥预连接的优势。

5.1.7.3 室内场景

在高层建筑室内场景，一般将预制光交箱放在地下室，引出不同的链路到不同楼层 / 楼层组，使用的产品需满足室内或楼道的防火、防尘要求。预制配线光缆需从地下室通过弱电井或室内管道引到不同楼层，因此连接器尺寸需较小、抗拉力需满足牵引施工要求。高层室内场景方案组网如图 5-8 所示。高层室内场景使用的产品的 IP 防护等级相比室外场景要求降低，但是要求产品外形尺寸较小，以便在狭小的管道和空间内布放，因此产品形态和室外场景会有一些差异。

图 5-8 高层建筑室内场景预连接 ODN 典型组网

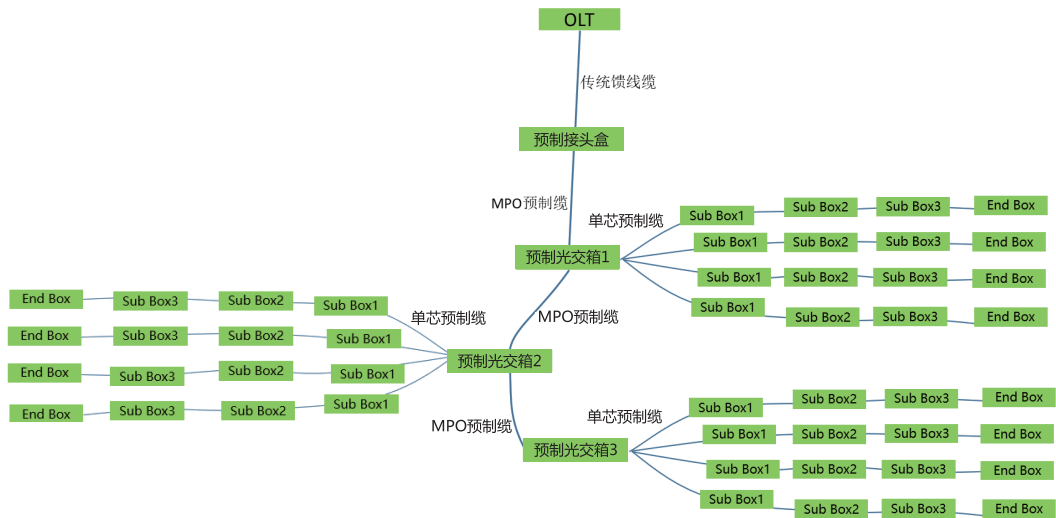




◆ 5.2 预连接 ODN 工程实施

5.2.1 预连接 ODN 施工流程

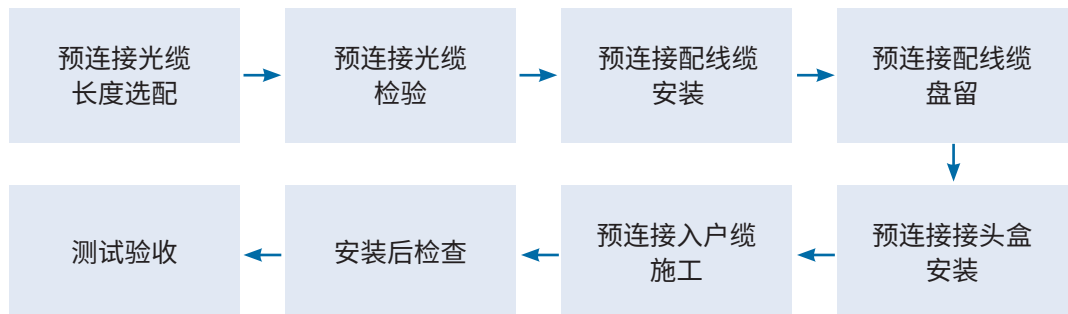
! 图 5-9 预连接 ODN 网络拓扑示意图 !



在预连接 ODN 网络设计环节，已确定好各类节点设备设施的安装位置和线缆的走线路由，工程实施阶段按设计在相应位置布放设备箱盒和线缆即可。预连接 ODN 解决方案中节点箱盒和线缆的施工解耦，箱盒安装和线缆布放可并行施工，最终完成整个网络的建设。

预连接 ODN 方案施工流程一般如图 5-10 所示：

! 图 5-10 预连接 ODN 方案施工流程图 !



- 1) **预端接光缆组件长度选配**: 根据设计图纸以及路由复测后计算敷设长度（节点到节点之间），选配合理长度的光缆组件；
- 2) **预端接光缆组件检验**: 检查光缆和连接器的外观、光纤的有关特性等；
- 3) **预端接光缆组件安装**: 将每一段预端接光缆组件沿设计路由布放并固定；
- 4) **预制箱盒安装**: 根据设计方案, 安装预制接头盒、预制光交箱、预制级联盒和预制末端盒；
- 5) **引入光缆组件施工**: 布防并固定用户引入光缆组件；
- 6) **安装后检查**: 检查安装质量；
- 7) **测试验收**: 按验收标准对线路工程进行测量验收。

5.2.2 预端接配线光缆组件安装

室外架空场景下，首先根据设计路由确认光缆锚固件（如楔形耐张夹具）的安装位置并拧紧抱箍，固定好锚固件，然后布放光缆，用夹具将光缆固定在沿途锚固点上。由于杆跨距原因，光缆会经过部分没有箱盒的电杆，这种场景也需要将光缆在杆上锚固，并预留 30cm—50cm 形成避水弯。

! 图 5-11 架空光缆锚固点（使用楔形耐张夹具） !



! 图 5-12 架空光缆跨电杆安装 !





室外管道场景下，预端接配线光缆穿管施工过程如图 5-13 所示，其中管道缆的预制连接头在“子弹头”保护下完成穿管后现场安装外壳形成完整的增强型连接器，与接头盒匹配。

图 5-13 室外管道应用场景穿管施工过程



5.2.3 预制箱盒安装

非预端接的普通光缆接入预制接头盒的方式与传统线路安装类似，如果馈线光缆在预制接头盒处有部分需直通光纤，则从盒体直通缆孔引入光缆，如果馈线光缆在预制接头盒处不需要直通，则从分歧缆孔引入光缆。馈线光纤与 MPO 连接器的尾纤熔接，通过外置 MPO 适配器输出。预制光交箱、预制级联盒和预制末端盒都是全密封、不可开启的，将箱箱体固定好之后，将预端接光缆组件插接到对应端口即可。预制箱盒一般兼容支持抱杆、挂墙、挂缆三种方式安装。由于配线缆的长度是定制的阶跃值，不能与节点设备之间的距离完全匹配，一般需要在箱盒固定处配置光缆预留支架，盘储多余配线缆。

5.2.4 预连接引入光缆组件安装

预连接引入光缆组件放装时采用人工方式牵引无增强型连接器的一端，选择合适的位置入户。当需要从杆路上引下时，在用户端墙面上安装 C 型拉钩。引入光缆需开孔入户时，尽量利用原有空调孔等孔洞，也可在墙面上新开孔入户。


5.2.5 安装后检查

1	2	3	4	5
光缆符合设计要求	光缆敷设质量，无破损，无扭曲、打结	预留光缆长度、盘放质量及弯曲半径	光缆弧垂	与其它设施的安全隔距

◆ 5.3 预连接 ODN 测试验收

ODN 网络建设需要对链路质量进行测试验收。由于预连接 ODN 解决方案采用了高可靠的预连接光缆，通常只需要验收用户侧端口的光功率，验收效率高。

5.3.1 仪表和工具

手持光功率计	手持式端检仪	端面清洁笔	5m 预连接测试纤
			

5.3.2 验收步骤

第一步：用手持式端检仪检查预连接测试纤的端面，确保连接器端面清洁。如连接器端面有脏污，用连接器端面清洁笔或者无尘纸进行清洁；

第二步：将光功率计通过预连接测试纤接到 Sub Box 1 的入户端口，测试 Sub Box 1-1 (Sub Box 1 上的 1 号入户端口) 入户端口的光功率 (@1490nm) 并记录。如果光功率大于 -24dBm (注：此功率以 ONU/ONT 设备采用 Class B+ 光模块为例，具体验收指标最终以设备功率门限及客户要求为准)，则判断该分纤盒光功率合格，由于分纤盒的所有用户端口出自同一个光分路器，光功率基本相同，建议同一个分纤盒只按比例抽测部分端口，无需测试所有端口。测试后，应将光端口防尘帽密闭盖回。



图 5-14 预连接 ODN 验收测试示意图



第三步：依次完成 Sub Box 2、Sub Box 3、End Box 上用户端口的光功率测试，并记录。

由于采用了不等比分光技术，级联次数越多，用户端口的光功率越小，因此 Sub Box 1 和 Sub Box 2 光功率超标风险很小，如果为了提高验收效率，可以只测试 Sub Box 3 和 End Box 的输出用户端口。

将以上各节点损耗测试结果与预期损耗进行对比，如存在异常偏差，则需要对该点进行故障排查，然后将该测试结果纳入验收文档归档。

预连接 ODN 方案中各器件典型损耗示例见表 2，可根据实际组网情况参考表中取值。

表 2 预连接 ODN 方案中各器件典型损耗示例

序号	设备	波长 / 规格	光功率衰减 (dB)	
1	光缆 (G.652/ G.657)	1310 nm	0.35/km	
		1490 nm	0.25/km	
		1550 nm	0.21/km	
		1625 nm	0.23/km	
2	连接点	熔接点	0.05	
		快速连接器	0.50	
		预制连接器	0.15	
3	预制光交箱	1:2 分光	3.60	
4	预制级联盒 Sub Box	1:9 分光	用户端口	级联端口
			1.90	15.70
5	预制末端盒 End Box	1:8 分光	10.40	

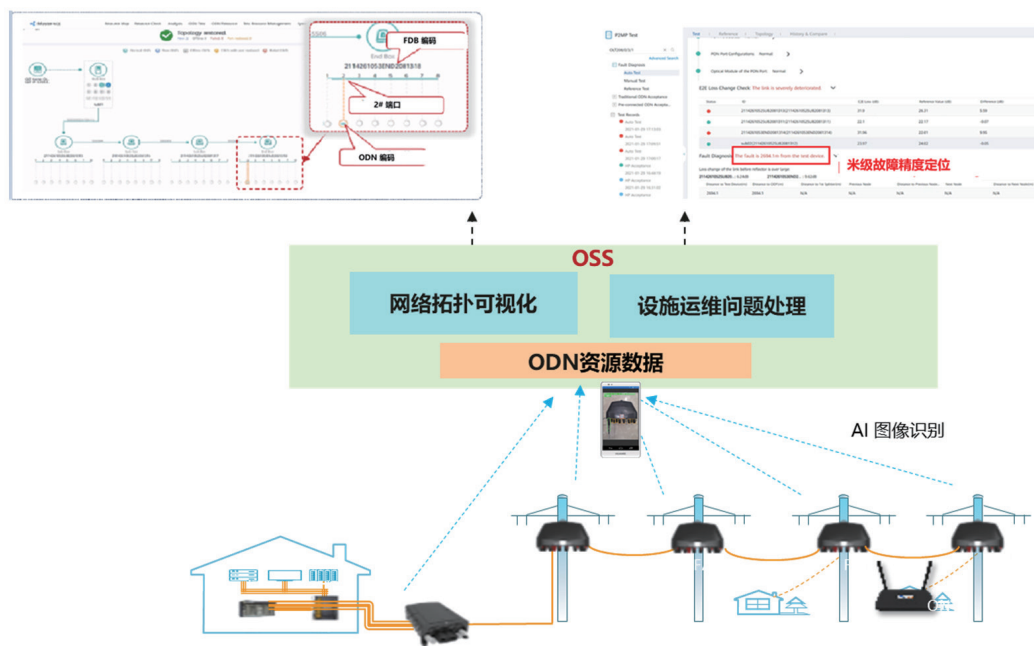
某预连接 ODN 项目验收测试实例见附录 I。



基于图像识别的预连接 ODN 数智化方案

图像识别是人工智能技术的最典型应用之一，采用图像识别，可快速高效地将物理世界的状态数字化，驱动诸多数智化应用。可通过 AI 图像识别技术与预连接 ODN 建设方案相结合，进行链路哑资源信息收集和上报，汇入 OSS 运营支撑系统的 ODN 资源管理模块，实现数智化管理，该解决方案整体架构如图 6-1 所示。

图 6-1 基于图像识别的预连接 ODN 数智化解决方案整体架构示意图





◆ 6.1 图像识别的作用

海量的无源 ODN 端口需要通过人工来管理维护，给运营商运维带来了极大挑战，通过图像识别技术和预连接 ODN 配合，可在不改变 ODN 无源特性的前提下，快速建立 ODN 网络的连接关系，如图 6-2 所示。

! 图 6-2 图像识别建立 ODN 连接关系 !



在该解决方案中，图像识别技术主要有两个作用：

1

识别 ODN 设备上的二维码，获取 ODN 相关信息（包含设备类型、设备规格、生产日期等）；

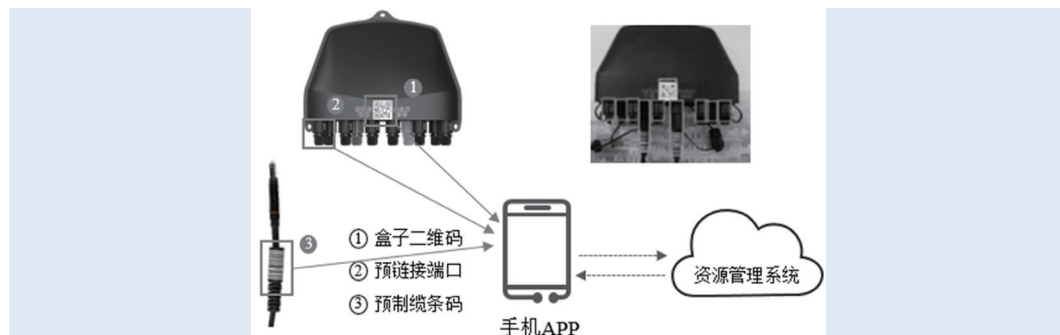
2

自动锁定并识别预制分纤盒端口状态（判断“占用”或“空闲”，用于用户装机时资源匹配），以及与端口连接的光缆上的条形码（用于确定连接关系）。

◆ 6.2 关键识别元素

为了实现全面的数智化管理，该方案需要在预连接 ODN 设备上预置图像识别所需要的关键识别元素，如图 6-3 和图 6-4 所示。

! 图 6-3 关键识别元素 !



! 图 6-4 图像识别示意图 !



- **箱体二维码**：包含的信息能够体现设备的型号和规格，以及用于区分其他设备的全局唯一的编码标识；
- **光缆条码**：预端接光缆组件上用于标识光缆信息的一维条形码，双端组件的两端带有相同条形码；
- **易识别的端口布局**：图像识别依赖采集图像信息进行处理，合理的端口布局是准确识别的前提。基于合理的端口布局，通过 AI 算法，能够低代价地精确识别出设备的类型、端口占用状态、端口连接线缆条码等关键信息，并通过手持终端 APP 将信息回传到后台系统。

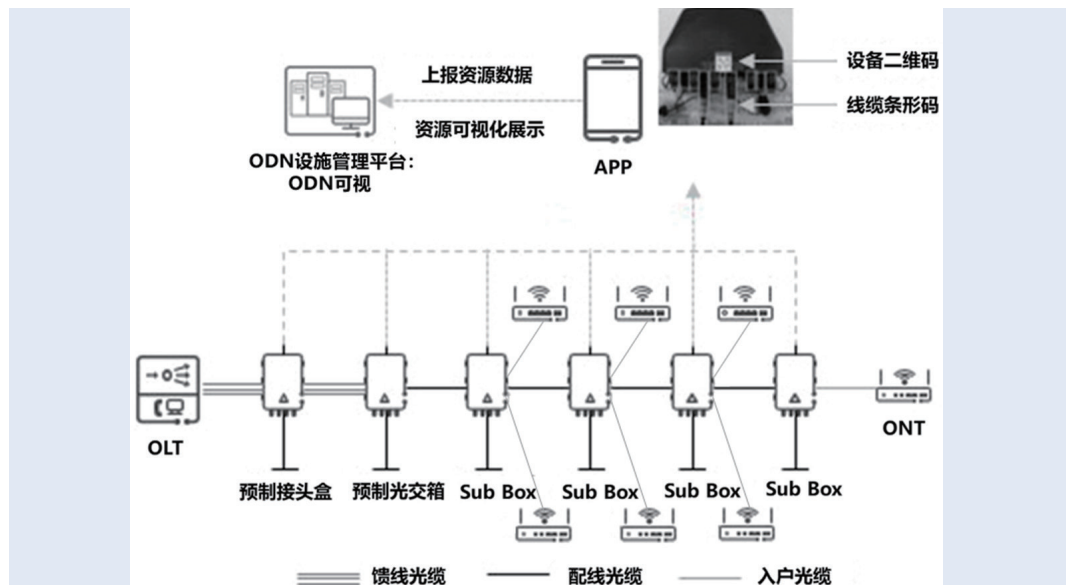


◆ 6.3 方案实施

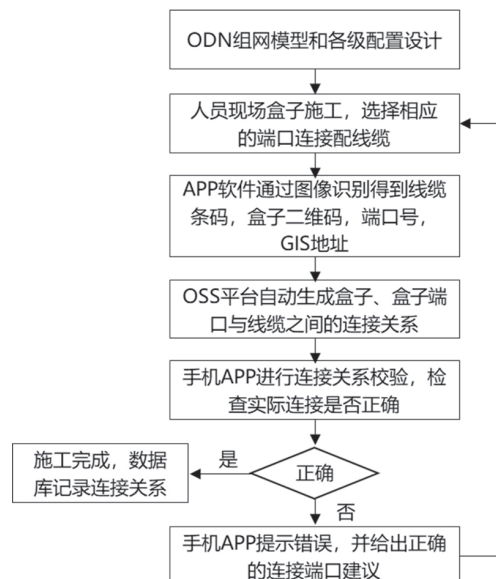
6.3.1 网络建设阶段

通过手持终端 APP 可快速拍照识别 ODN 设备和线缆，识别设备端口布局、设备类型及设备端口与光缆编码对应信息，装维人员可以快速准确完成 ODN 资源信息录入，如图 6-5 所示。

! 图 6-5 网络建设阶段图像识别原理 !



业务流程如下：



平台信息显示效果如图 6-6 所示，可包含如下信息：

- 辑拓扑层级；
- 设备基本信息：编码、名称、类型、配线缆信息、坐标、安装图等；
- 端口占用状态和内部构造图；
- 端口占用比率；
- 端口关联设备信息。

图 6-6 网络建设阶段平台信息显示效果

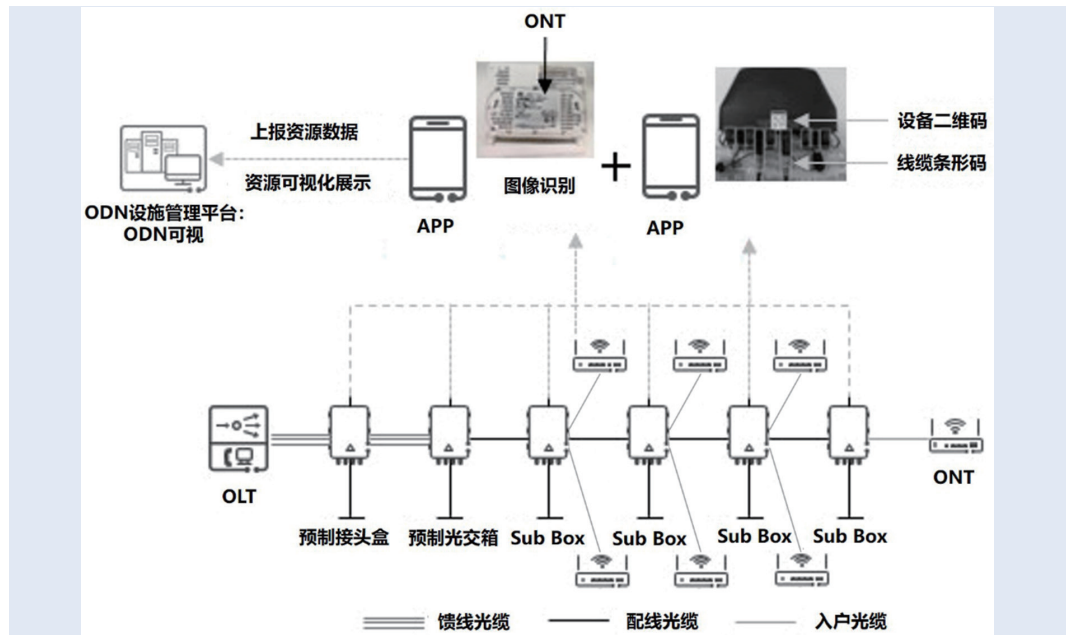


6.3.2 业务开通阶段

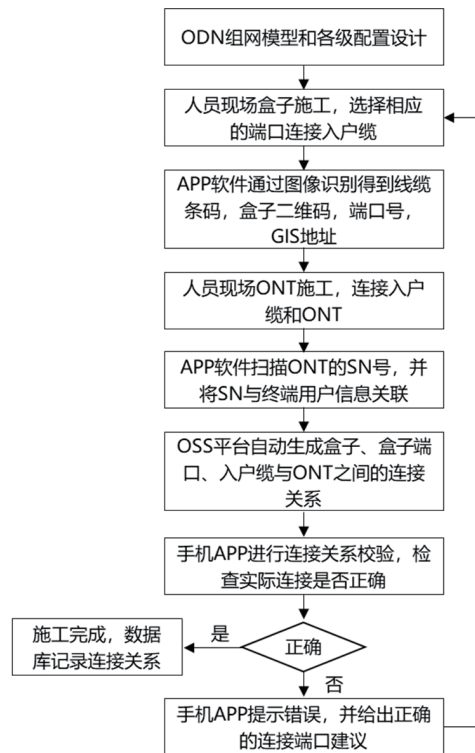
通过智能识别可快速建立放号设备、用户端口及用户引入线缆的拓扑关系，实现快速业务开通及数据准确录入，如图 6-7 所示。



图 6-7 业务开通阶段图像识别原理



业务流程如下：



业务开通信息显示效果如图 6-8 所示，可包含如下信息：

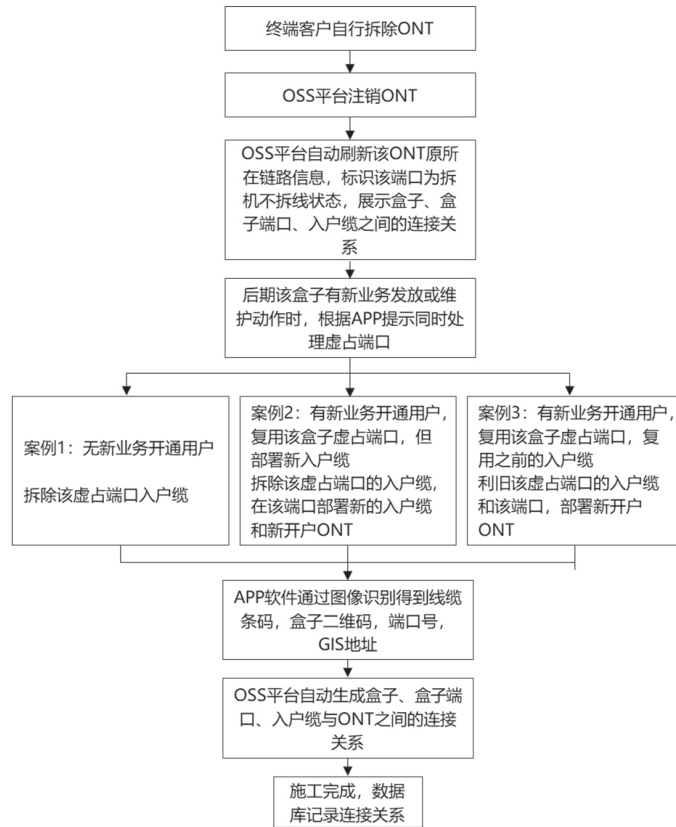
- 端口占用状态；
- 端口占用比例；
- 设备基本信息：设备编码、名称、类型、坐标、施工图等；
- 分纤盒各端口连接的 ONT 详细信息，包括端口号、ONT 编码、引入光缆组件编号、ONT 状态等。

图 6-8 业务开通阶段平台信息显示效果



6.3.3 网络维护场景

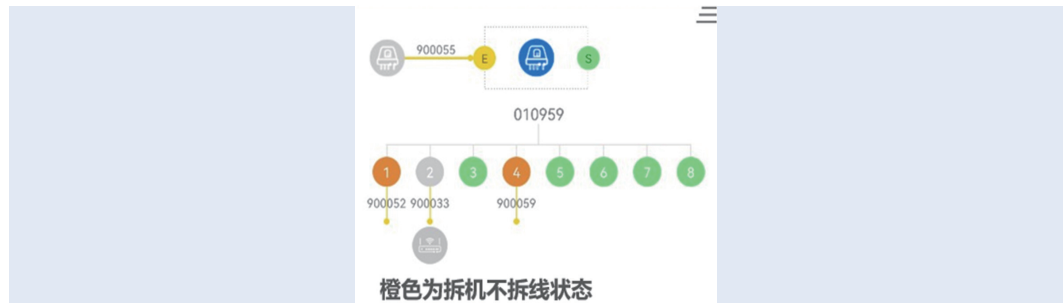
通过智能识别，在 ONT 拆除后，即使引入光缆组件在分纤盒处没有拆除，也可快速识别并刷新网络拓扑，反映相应端口状态变化。业务流程如下：



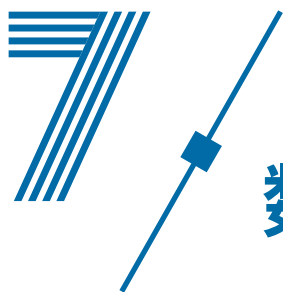
网络维护信息显示效果如图 6-9 所示，可包含如下信息：

- 展示拆机不拆线端口的虚占状态；
- 展示拆机不拆线端口连接的引入光缆组件编号。

图 6-9 网络维护显示效果示意图



在网络维护阶段还可支持配线缆更换、引入光缆组件更换、ONT 更换等功能，通过 APP 可快速收集已更换的 ODN 设备、线缆或 ONT 信息，回传至数智 ODN 管理系统，实现资源的更新。



数智化 ODN 愿景

◆ 7.1 ODN 网络管理痛点

ODN 是无源网络，其无源特性决定了 ODN 网络设施难以自动化管理，须依赖于人工。相对而言，用户装机和运维阶段纤芯关系变化的管理和配线设施端口变化管理难度最高，必须有强流程和规范保障，才能提高资源管理准确率。自诞生以来，ODN “哑资源”数据不准一直是运营商面临的主要难题之一。当前 ODN “哑资源”管理主要存在如下问题：

- 1) **资源不准确**，信息错乱缺失，准确度一般仅在 30%-60%，光纤端口资源依赖人工管理，不可控；
- 2) **业务开通难**，拆机不拆线、端口虚占，资源沉默率可达 10%-20%；
- 3) **线路损耗大**，业务常因弱光无法开通；
- 4) **定障效率低**，排障难，65% 故障上门 / 站，OPEX 高；
- 5) **拓扑构建困难**，网络拓扑、节点间连接关系主要依靠人工方式获取，缺少信息验证手段，对于后期业务开通、链路优化等工作造成困难。

ODN 哑资源存在的一系列问题需要数字化、智能化方案解决，数智化技术将成为未来第三代 ODN 的重要关键技术。

◆ 7.2 数智化 ODN 预期效果

在不改变 ODN 网络无源特性的基础上，通过引入数字化、智能化新技术，在网络设施规划、建设、验收、运营、维护等全生命周期内，构建可自闭环的 ODN 智能化管理机制，实现 ODN 无源网络的精准数字化管理和智能化运维运营，这些技术可以统称为数智 ODN 技术。

数智 ODN 技术可以避免 ODN 资源数据人工录入和修改，解决线路连接关系和端口状态变化由人工管理带来的不确定性和效率低等问题，支撑业务快速开通，保障网络的正常运行，提升运营和维护的效率和质量。数智 ODN 技术符合自智网络的发展要求，并能够通过持续的数据采集和算法训练进行演进，提升 ODN 网络的分析和管理能力。



通过采用数智 ODN 技术方案，预期可实现如下效果：

1

网络拓扑关系自动构建

基于 AI 的图像识别可快速获取 ODN 设备和线缆连接关系，生成完整的 ODN 资源关联信息并映射在 GIS 地图上，便于资源同步和位置管理；

2

光路状态可视

ODN 光路状态直接影响业务开通和用户业务体验。数智化 ODN 可基于“光虹膜”等技术感知光路状态，支持光纤链路的插入损耗端到端远程自动测量分析、告警分析，做到光路状态实时可视和动态预警预测，包括光路路由、光路健康状态的可视和预警预测等；

3

资源变化动态感知

ODN 资源变化主要是用户装机和运维阶段光缆分纤箱处用户端口状态变化和纤芯关系变化，数智化 ODN 可自动感知这些变化并刷新资源管理数据库，保证数据库数据和现场数据的一致性；

4

故障定责定位

数智化 ODN 管理系统可支持 ODN 线路段的故障责任划分，还可支持分钟级远程故障检测和米级精度故障定位。

7.2.1 数智化资源管理

在 ODN 网络建设部署阶段，采用统一编码、图像识别、位置定位和检索等数字化信息技术，可以把 ODN 资源快速录入到 OSS 运营支撑系统，并能够对资源的 GIS 信息和地址进行绑定。

在工程验收过程中，采用数智技术可对 ODN 光路进行全量挂测验收，识别出光路质量和光路长度，辅助 ODN 网络线路快速新建入网验收以及扩容和改纤验收等工作。

数智 ODN 技术可自动构建网络光链路拓扑，并识别关键光路资源的占用状态，辅助运营商规划部门与建设部门进行资源利用率规划和管理。采用数智技术可自动构建逻辑光路与业务设备的关联关系，用户、业务、光物理链路三位一体，成为高级运营应用的基础。

7.2.2 数智化运维

以数智化 ODN 为基础的数字化管理系统可在主动运营中发挥关键价值，包括日常例行巡检、投诉故障定界定位和场景化监控。

在智能化日常线路巡检场景下，数智化系统可自动定期进行线缆巡检，提升城区主干和偏远山区的巡检质量与效率。数智化 ODN 系统能够识别光路潜在故障，如光衰持续衰变、光路异常衰变、光路过长等并精准定位，提前进行预警，可有效消除弱光等导致的投诉，提升用户满意度。

在接到投诉后的被动故障定界定位方面，数智化系统可分钟级识别出用户的投诉是否由光路导致、是群障还是个障，并能够快速精确地确定故障逻辑位置并结合资源 GIS 信息精准确定故障地理位置，光路故障恢复以后可对光路质量快速验收。

数智 ODN 系统还可支持场景化的光路保障，对于对网络可靠性有特殊需求的客户、重大应用场景，能够进行持续的光路监控，随时识别风险、定位断纤等故障并预判光链路的劣化隐患。





总结和展望

“十四五”期间，数字化发展必将不断加速，宽带光纤网络作为重要的新型基础设施，将持续深化与医疗、教育、政务、办公、零售、文旅等领域的融合，催生更多的新业态、新模式、新产业，而其自身的发展也将进入新的阶段。作为宽带光纤网络的重要组成部分，ODN 网络建设面临着诸多问题和挑战，如土建工程费用高、光纤连接复杂度高、装机难度大、装维操作影响网络质量、资源管理困难等，难以适应网络全覆盖和高质量发展的新要求。宽带网络带宽的逐步升级，网络覆盖率的进一步提升，以及高可用性、高可靠性等网络高质量发展的需求，正促使 ODN 网络建设向下一代（第二代 ODN）演进。

下一代 ODN 网络采用预连接等关键技术，具有灵活可扩展、易部署、易维护、高可靠、资源管理精准等特点。通过预连接、不等比分光、全密封箱盒等技术，预连接方案从入户段向 CO 机房延伸，实现 FTTH 全程预连接建网；在预连接的基础上采用 AI 图像识别、上云管理等数智化技术，可实现 ODN 资源可视可管，初步解决哑资源管理难题。下一代 ODN 解决方案有望解决光接入网施工过程中 ODN 建设效率低、人员投入成本高、光纤“哑资源”管理困难等问题，其广泛建设应用将助力城市及重点乡镇千兆光网络规模部署，提升城镇老旧小区光接入网覆盖能力，推动全光接入网进一步向用户终端和各类智能化公共设施延伸，支持有条件地区超前布局更高速率宽带接入网络。

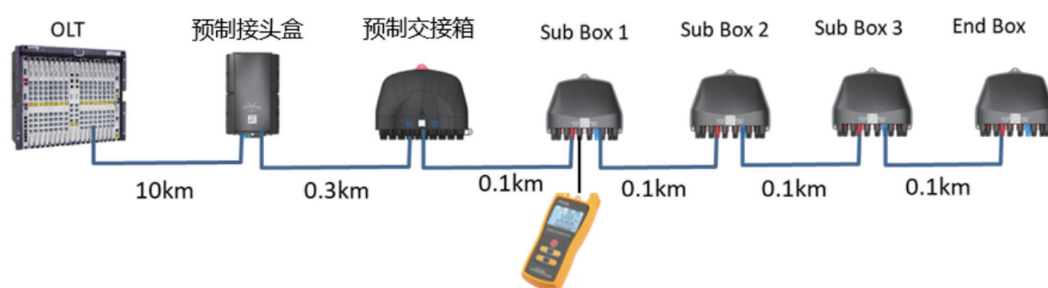
面向未来，立足于千兆光纤网络发展过程中面临的关键问题与切实需求，ODN 网络需要加速创新迭代，通过与数字化、智能化技术进一步融合创新实现 ODN 资源的全生命周期可视化管理，构建高度自动化智能化的全光网络基础设施，成为网络强国、制造强国、数字中国建设的坚实基础。



附录 I： 预连接 ODN 验收测试实例

某网络实际组网方案如图 I-1 所示。OLT 的光模块等级 Class B+，发射光功率 3dBm，链路总长度 10.7km。

图 I-1 某预连接 ODN 网络实际组网方案



该方案的理论测试光功率和实测光功率如表 I-1 所示。



表 I-1 理论测试光功率和实测光功率

产品	端口	理论光功率 dBm	实测光功率 dBm	产品	端口	理论光功率 dBm	实测光功率 dBm
Sub Box 1	1	-19.1	-18.42	Sub Box 3	1	-23.5	-21.74
	2		-18.68		2		-21.93
	3		-18.56		3		-21.75
	4		-18.40		4		-21.82
	5		-18.31		5		-21.96
	6		-18.36		6		-22.15
	7		-18.42		7		-21.79
	8		-18.48		8		-21.99
Sub Box 2	1	-21.3	-20.39	End Box	1	-20.4	-18.14
	2		-20.09		2		-18.14
	3		-20.24		3		-18.01
	4		-20.34		4		-18.42
	5		-20.25		5		-18.08
	6		-20.12		6		-18.05
	7		-20.08		7		-18.30
	8		-20.03		8		-18.26



中国通信企业协会
CHINA ASSOCIATION OF COMMUNICATION ENTERPRISES