

T/CAICI

中国通信企业协会团体标准

T/CAICI XX—XXXX

工业互联网用 PON 网络工程技术标准

The Engineering Technical Standard for PON Network in Industrial Internet

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

20XX – XX – XX 发布

20XX – XX – XX 实施

中国通信企业协会 发布

目 次

前 言..... III

1 范围..... 4

2 规范性引用文件..... 4

3 术语和缩略语..... 4

 3.1 术语..... 4

 3.2 缩略语..... 5

4 工业 PON 网络系统架构..... 6

 4.1 工业互联网 PON 整体网络体系目标框架..... 6

 4.2 工业互联网 PON 网络组网拓扑..... 6

 4.3 工业互联网网络连接框架..... 7

5 系统设计..... 8

 5.1 网络规划..... 8

 5.2 网络保护与修复..... 9

 5.3 网管系统与控制平面..... 9

6 系统性能指标..... 10

 6.1 以太网基本性能..... 10

 6.2 网络切片性能..... 10

 6.3 VXLAN 性能..... 10

 6.4 确定性网络能力..... 10

 6.5 保护倒换时间性能要求..... 11

7 信息安全..... 11

 7.1 信息安全总体要求..... 11

 7.2 分层安全架构..... 11

 7.3 关键技术要求..... 11

 7.4 安全测试与认证..... 11

8 设备选型与配置..... 12

 8.1 光接入设备类型..... 12

 8.2 OLT 设备接口要求..... 13

 8.3 光分路器技术要求..... 13

 8.4 ONU 设备接口技术要求..... 14

 8.5 工业环境适应性要求..... 16

9 设备安装设计..... 16

 9.1 机房环境要求..... 16

 9.2 机房平面与设备布置..... 16

 9.3 设备安装设计..... 17

 9.4 线缆选择与布线设计要求..... 17

 9.5 电源系统与接地..... 18

10 光分配网（ODN）设计.....18

10.1 光分配网（ODN）组成.....18

10.2 光分配网（ODN）组网及路由选择.....19

10.3 光缆、光分路器、其他配线设施技术要求.....19

10.4 光缆敷设设计要求.....20

11 工程施工..... 18

11.1 施工前检查.....20

11.2 光缆单盘检验.....20

11.3 设备及施工机具仪表检查.....20

11.4 设备安装施工要求.....21

11.5 电缆选择与布线施工要求.....21

11.6 光分配网（ODN）施工要求.....22

11.7 测试要求.....22

12 节能环保与安全生产要求.....23

12.1 节能环保要求.....23

12.2 安全生产要求.....23

13 竣工文件.....24

13.1 竣工文件组成.....24

13.2 竣工文件要求.....24

14 工程验收.....24

14.1 随工检验.....24

14.2 工程初步验收.....25

14.3 工程试运行.....26

14.4 工程终验.....26

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国通信企业协会团体标准管理委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国移动通信集团设计院有限公司、中兴通讯股份有限公司、普天信息工程设计服务有限公司、山东省邮电规划设计院有限公司、上海邮电设计咨询研究院有限公司、北京中网华通设计咨询有限公司

本文件主要起草人：李树平、周凯仁、习建华、张文君、刘光明、许化栋、焦鹏、叶长青、王晓唯、杨书

本文件为中国通信企业协会首次发布。

工业互联网用 PON 网络工程技术标准

1 范围

本文件规范了工业互联网使用的PON网络工程的设计、施工、验收工作。

工业互联网用PON网络工程，除应符合本文件的规定外，还应符合国家现行网络技术体制、进网要求、技术标准的规定。本文件与国家有关标准规范相矛盾时，应按国家标准、行业标准规范的相关规定执行。

本文件所涉及的技术要求，除有特别注明的内容以外，均同时适用于基于EPON 和GPON 技术体系的工业PON系统，需满足高可靠性、低时延、强抗干扰等工业级需求。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50311 综合布线系统工程设计规范

GB/T 50312 综合布线系统工程验收规范

GB 51158 通信线路工程设计规范

GB 51171 通信线路工程验收规范

GB / T 42021-2022 工业互联网 总体网络架构

GB/T 51380 宽带光纤接入工程技术标准

YD/T 4443 工业互联网联网用技术无源光网络（PON）设备技术要求

YD/T 4651 工业互联网联网用技术 无源光网络（PON）总体技术要求

YD/T 5139 有线接入网设备安装工程设计规范

YD/T 5140 有线接入网设备安装工程验收规范

YD 5201 通信建设工程安全生产操作规范

YD/T 5228 光纤到户（FTTH）工程施工操作规程

YD / T 6201-2024 工业互联网 园区网络 总体技术要求

3 术语和缩略语

下列术语和缩略语适用于本文件。

3.1 术语

工业互联网 Industrial Internet

新一代信息通信技术与工业经济深度融合的新型基础设施、应用模式和工业生态，通过对人、机、物、系统等的全面连接，构建起覆盖全产业链、全价值链的全新制造和服务体系。

工业互联网网络 Industrial Internet Network

连接工业企业内人员、机器、材料、环境、系统,以及企业各地机构、上下游企业、用户、产品等工业全流程全要素的信息网络基础设施。

工厂内网络 Enterprise Internal Network

用于工厂内人、机、物等生产要素互联以及企业 IT 管理系统之间连接的网络。

工厂外网络 Enterprise External Network

支撑工业全流程活动,连接企业上下游之间、企业与智能产品用户的网络。

OT 网络 Operation Technology Network

用于连接生产现场设备与系统,实现自动控制及信息采集的工业通信网络。

IT 网络 Information Technology Network

用于连接信息系统与终端的数据通信网络。

现场总线 Fieldbus

连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。

软件定义网络 Software Defined Network

通过将网络控制面与数据面分离开来,并提供开放编程接口,从而实现网络灵活控制。

网络虚拟化 Network Virtualization

能够实现网络资源动态调配、动态管理的技术。

无源光网络 PON Passive Optical Network

基于点对多点拓扑的光纤接入技术,其光分配网络(ODN)中不含任何有源电子器件,仅通过无源光分路器实现光信号的分发与汇聚。

光线路终端 OLT Optical Line Terminal

位于运营商核心侧的设备,主要用于控制信道分配与管理、执行媒质接入控制、完成光电信号转换、向 ONU 以广播方式下行发送数据,以时分复用方式接收上行数据。

光网络单元 ONU Optical Network Unit

部署在用户侧的终端设备,核心功能为接收 OLT 的广播信号并过滤本端数据、按 OLT 分配的时隙突发式上传数据、执行光电/电光转换,在较多情况下 ONU 也称为 ONT (Optical Network Terminal)。

光分配网 ODN Optical Distribution Network

连接 OLT 与 ONU 之间的纯无源光纤物理网络,关键组件包括光纤缆线、光分路器、光纤连接器、光纤配线架等。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IPv4	互联网协议第四版	Internet Protocol Version 4
IPv6	互联网协议第六版	Internet Protocol Version 6
IT	信息技术	Information Technology
MQTT	消息队列遥测传输	Message Queuing Telemetry Transport
OT	操作技术	Operation Technology

OPC UA	OPC 统一架构	OPC Unified Architecture
SDN	软件定义网络	Software Defined Network
TSN	时间敏感网络	Time-Sensitive Networking

4 工业 PON 网络系统架构

4.1 工业互联网 PON 整体网络体系目标框架

工业互联网PON网络作为工业企业的基础有线接入网络，可以用于承载不同规模的离散型制造业、流程型制造业企业以及工业创新园区等场景中的生产、办公、视频监控、无线网络承载等不同业务子网。根据工业互联网互联需求的发展,形成工业互联网整体网络体系目标框架。目标架构如图1所示。

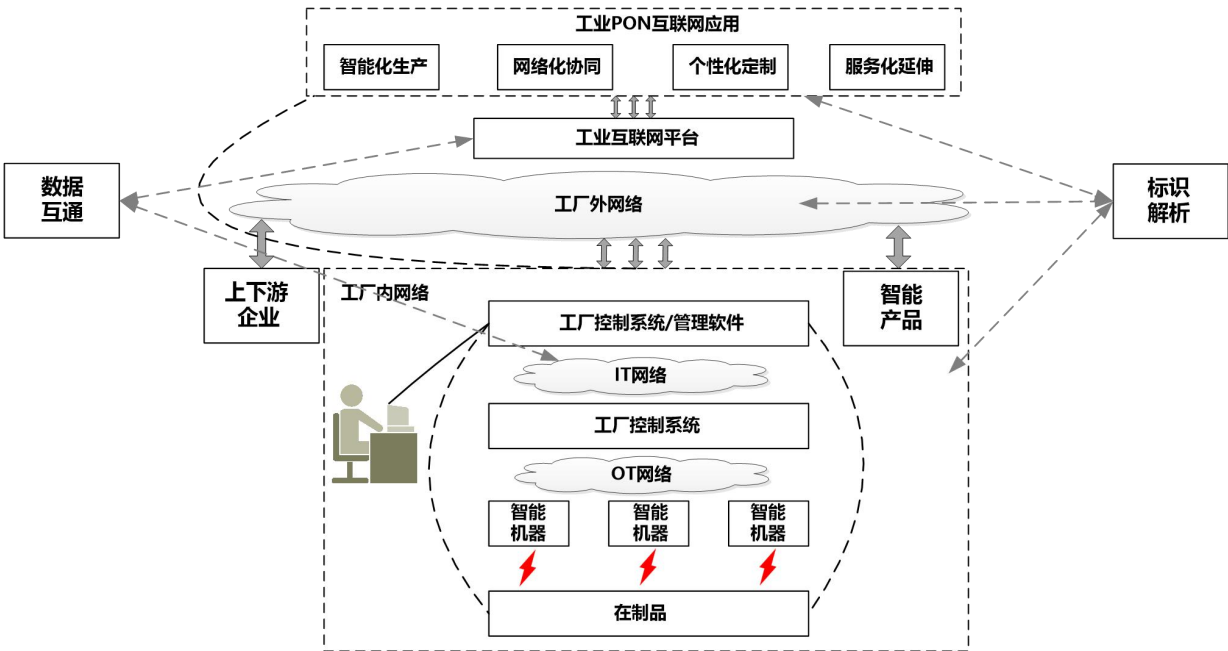


图1 工业PON网络系统架构目标框架

4.2 工业互联网 PON 网络组网拓扑

工业互联网PON网络体系中，工业企业的网络层次可以分为工厂外网络、工厂级网络、车间级网络以及现场级网络。

工业PON位于企业车间级网络位置，通过光网络单元(ONU)设备连接现场级网络，提供工业场景下的工业数据采集、工业数据传输和汇聚、办公网络互联、语音通信、安防监控回传等业务功能通过光分配网络(ODN)连接光线路终端(OLT)和ONU，实现现场级工业设备数据、生产数据等的汇聚、传输。拓扑结构如图2所示。

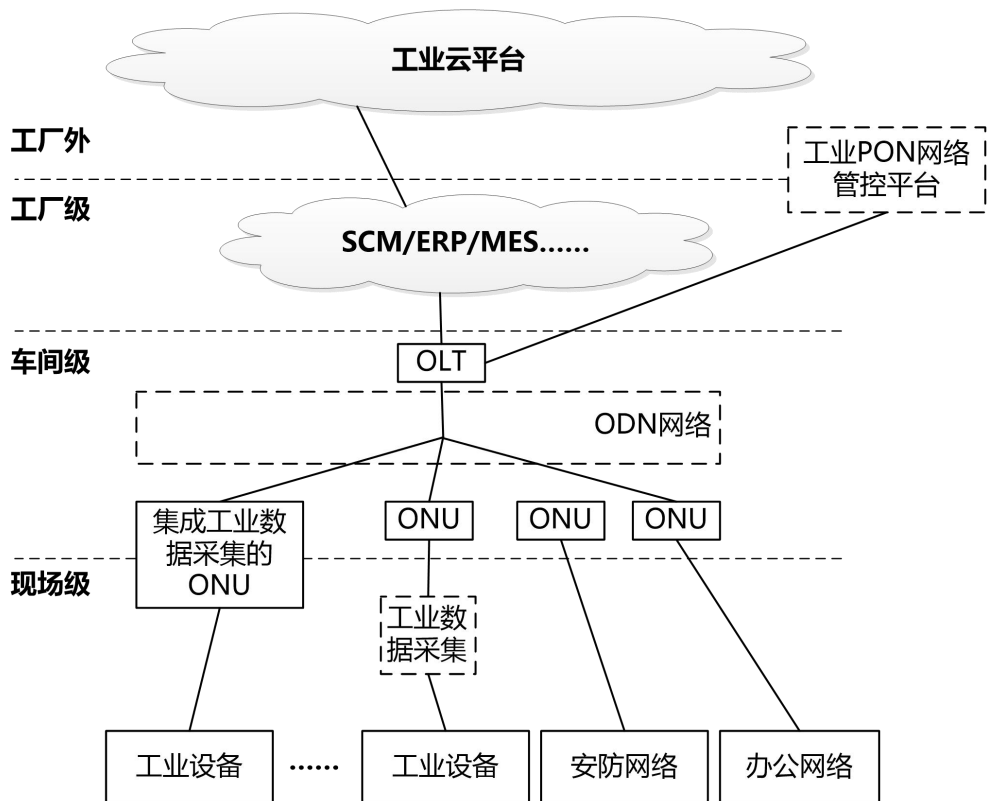


图2 工业互联网PON网络组网拓扑示意图

通过OLT 与工厂级网络中的企业生产管理网络(例如MES、SCM、ERP等)对接，实现企业OT和IT融合组网及工业数据的可靠有效传输。

工业PON 系统的业务配置和运行维护，通过工业PON管理平台进行。该管理平台根据网络建设和运维要求，可位于企业工厂外网络，由运营商进行管理；或位于企业工厂级网络中，由企业进行管理。工业PON系统由OLT 、ODN 和ONU 组成，其中根据工业企业对于边缘计算业务的需求，OLT 侧可选配备相应的边缘计算通用硬件资源；工业PON系统通过上层网络与管理系统以及相应的工业云平台实现连接，实现工业互联网场景下的互联和汇聚功能。

4.3 工业互联网网络连接框架

工业互联网网络连接框架包括工厂内网络和工厂外网络，又可分为网络互联和数据互通两个层次。网络互联实现要素之间的数据传输，数据互通实现要素之间传输信息。网络连接框架如图3所示。

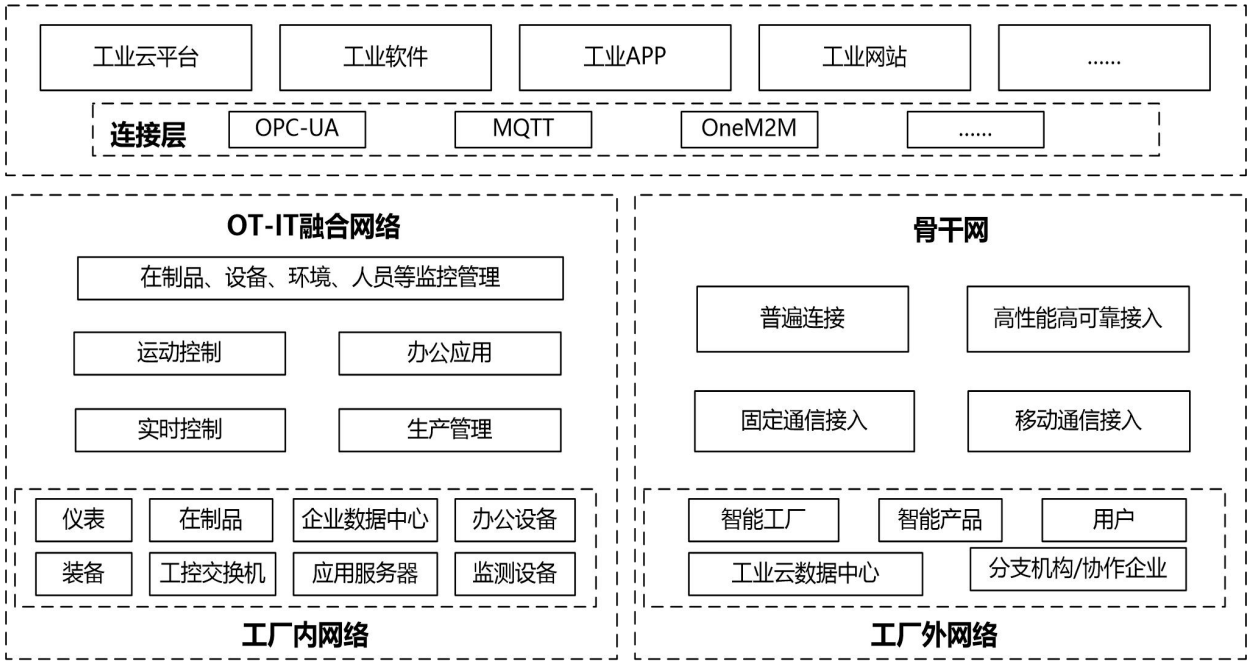


图3 工业互联网网络连接框架示意图

5 系统设计

5.1 网络规划

5.1.1 工厂内网络规划

工业PON网络工厂内网络是在工厂内部用于生产要素以及IT系统之间互联的网络。主要包括：工厂IT网络、工厂OT网络、智能机器和在制品的网络连接、泛在的无线连接、基于SDN的IT/OT组网方案等。工厂内网络应满足以下要求：

- 工厂内网支持多种连接方式。生产现场的智能机器、在制品、传感器、运送设备、控制系统等支持现场总线、以太网、光纤网、无线网等多种方式实现设备接入；
- 支持灵活的IT/OT组网。实现控制平面与转发平面的分离，通过SDN控制器与制造控制系统协同进行网络资源调度，支撑柔性制造和生产自组织；
- 支持IPv4和IPv6。IT网络和OT网络支持IP协议，支持IT与OT节点（机器）直接互联互通；
- 支持全网可视化管理，提供统一的拓扑管理、警报管理、性能管理、审计管理、报表管理等功能。

5.1.2 工厂外网络规划

工业PON网络工厂外网络是用于连接企业上下游之间、企业与智能产品、企业与用户之间的网络。主要包括基于IPv4/IPv6的公众互联网、基于SDN的工业互联网专网或虚拟专用网（VPN）、泛在无线接入、支持工业云平台的接入和数据采集。工厂外网络应满足以下要求：

- 支持泛在接入和数据采集：通过多种有线和无线方式实现泛在接入，满足企业信息化系统、生产控制系统，以及各类智能产品的数据传送和服务质量保证；
- 支持IPv4与IPv6：具备工业互联网百亿量级终端数量接入能力；
- 支持灵活组网：通过互联网、基于互联网的虚拟网络、物理隔离专网，承载网络服务质量要求较高或比较关键的业务，实现不同业务和流量的隔离；

d) 支持全网可视化管理，支持全网路由器、交换机、关键服务器等设备的统一管理，支持全网的拓扑管理、流量管理、警报管理、性能管理、审计管理、报表管理等功能。

5.2 网络保护与修复

5.2.1 OLT 网络保护

a) OLT 应支持上联板的双归属的保护功能，即OLT 的两个上联链路分别连接到两个不同的上联网络设备上，在OLT测到一个主用上联链路异常后主动切换到另外一个备用上联链路；

b) OLT的上联双归属保护功能应支持被保护业务人工返回功能；

c) OLT上联口双归属保护方式中，保护倒换的业务中断时间应不大于50ms；

d) 对于工业OLT，本设备层面应支持双主控板配置，并支持主控板的1+1保护倒换。当主用主控板在检测到软件异常、硬件异常、拔板、网管强制命令倒换等情况发生自动倒换时，应将全部业务倒换到备用主控板。主控板倒换发生后应向EMS上报倒换事件以及倒换触发条件等必要信息。主备倒换完成后，原“备用板”成为“主用板”；

e) OLT应支持主用主控板和备用主控板的配置信息实时同步功能（以避免备用主控板在倒换时需要再进行VLAN等属性的重新配置，提高业务层倒换速度）。启用链路聚合功能应不影响主控板保护倒换的时间。

5.2.2 光链路保护

为了提高网络可靠性和生存性，工业PON系统应支持光链路保护倒换机制。光链路保护倒换可分为以下两种方式进行：

a) 自动倒换：由故障发现或者预警信息触发，如信号丢失、信号劣化、硬件故障、软件工作异常等；

b) 强制倒换：由管理事件触发。

对于支持光链路保护的OLT，应支持ONU注册、测距、业务配置信息等在主用PON口和备用PON口上的实时同步。在保护倒换过程中，除ONU的保护倒换本身的属性发生改变外，OLT 应能维持每个ONU的其余属性不变，如ONU认证状态、FEC功能的配置、SLA等。

工业PON网络的光链路保护，宜支持TYPE D方式（单OLT双PON口/双OLT不同PON口，ONU双PON口和双PON MAC，主干光纤、光分路器和配线光纤均双路冗余）。

a) OLT: 主、备用OLT的PON端口均处于工作状态。OLT应支持将主用PON端口的业务信息能够同步备份到备用PON端口，使得保护倒换过程中，备用PON端口能维持ONU的业务属性不变；

b) 光分路器：使用2个1:N分光器；

c) ONU: ONU具有2个独立的PON接口（分别包含PON MAC芯片和光模块等）且分别注册到主用和备用OLT的PON端口上。ONU的两个PON口工作于一主一备状态（热备份）。ONU应支持主用PON端口的业务信息同步备份到备用PON端口。

5.2.3 电源冗余保护

OLT设备、车间级ONU应支持电源冗余保护功能。当主用电源模块失效（硬件故障、手动拔板等）时发生自动倒换，或者通过网管命令强制倒换等情况下，系统的业务应不受影响（发生丢包），即电源模块的倒换导致的业务中断时间为0s。当电源模块发生倒换后，系统应向EMS上报倒换事件以及倒换触发条件等必要信息。

5.3 网管系统与控制平面

5.3.1 网管系统

网管系统应实现拓扑发现、配置管理、故障管理、安全管理、维护操作基本功能。

网管系统应实现OLT的上/下行光功率、CPU利用率的性能监控；应实现ONU接收光功率的性能监控；应实现业务质量的帧丢失率、时延抖动的性能监控。

工业互联网PON网络对接工业控制与网络控制，其网管系统总体应满足：

- a) 工业控制指令传输时延需 $\leq 10\text{ms}$ ，网管系统需支持毫秒级故障检测与恢复；
- b) 网络可用性目标 $\geq 99.999\%$ （年中断时间 < 5 分钟），控制平面需支持多路径冗余与快速切换；
- c) 区分关键控制流量（如PLC指令）与普通数据流量（如视频监控）的差异化保障。

5.3.2 工控系统

工控系统上应满足：

- a) 实时监控光功率监测精度达 $\pm 0.5\text{dB}$ ，ONU状态轮询周期 ≤ 1 秒；
- b) 支持工业设备拓扑自动发现，识别时间 < 30 秒（含M-Bus、Modbus设备）；
- c) 支持国密SM4加密的OMCI通道，密钥更新周期 ≤ 24 小时；
- d) 工业协议深度解析，识别异常指令（如非法PLC写操作）准确率 $\geq 99.9\%$ ；
- e) 北向接口：遵循工业互联网平台IIoT标准（如OneM2M），与MES/SCADA系统对接。
- f) 南向接口：兼容多厂商OLT设备，通过NETCONF/YANG模型统一配置管理。

5.3.3 控制平面

工业互联网PON网络控制平面，应具有基于FlexE技术实现硬隔离切片，为TSN流量分配固定周期带宽（如每1ms周期预留2Mbps）。可定义8级及以上QoS，确保PROFINET实时帧转发时延 $\leq 100\mu\text{s}$ 。时延感知，应具备结合GIS地图与光纤链路性能数据库，动态选择最优传输路径（如规避振动干扰区域），根据流量模式实时调整ONU上行时隙分配，优化线路利用率。

时钟同步侧，通过IEEE 1588v2协议实现OLT与工业设备时钟同步，精度 $\leq \pm 100\text{ns}$ ，具备在OLT侧部署TSN转换网关的能力，将工业TSN帧映射为PON GEM帧，保留时间戳与优先级标记。

6 系统性能指标

6.1 以太网基本性能

工业互联网用PON设备以太网基本性能应满足YD/T1475—2006、YD/T 2274—2011、YD/T 1949.1—2009、YD/T 2402.1—2012、YD/T 1953—2009 中相应要求。

6.2 网络切片性能

工业互联网用PON OLT设备的切片性能应满足YD/T 3757—2020中的相应要求。

6.3 VXLAN 性能

工业互联网用PON OLT设备的VXLAN性能应满足YD/T 3913—2021中的相应要求。

6.4 确定性网络能力

工业互联网用PON设备端到端时延(工业PON OLT网络侧端口至ONU用户侧以太网端口)，上行方向最大不超过500us，下行方向最大不超过200us。

工业互联网用PON设备端到端抖动(工业PON OLT网络侧端口至 ONU用户侧以太网端口)，上行方向最大不超过100us，下行方向最大不超过10us。

工业互联网用PON设备时间同步的同步精度不超过1us(可选)。

6.5 保护倒换时间性能要求

工业互联网用PON设备支持的保护倒换时间性能应符合《工业互联网用技术无源光网络(PON)总体技术要求》7.2条和7.3条的相应规定。

7 信息安全

7.1 信息安全总体要求

工业互联网PON网络需满足机密性、完整性、可用性、可追溯性四大核心安全目标，重点防范针对工业控制系统的网络攻击、数据泄露及物理破坏风险。

7.2 分层安全架构

a) 设备层：

- ONU/OLT设备需具备防拆卸、防篡改外壳，支持IP67防护等级，适应高温（-40℃~85℃）、高湿等工业环境；
- 固件升级需通过数字签名验证（如SM2/SM3国密算法），禁止未授权代码执行；
- 集成硬件应在可信执行环境（TEE）存储密钥与敏感数据（如PLC控制指令）。

b) 传输层：

- 通道加密宜采用MACsec或IPsec协议对PON下行广播流量加密，密钥更新周期≤24小时；
- 业务隔离应具备通过FlexE硬切片技术隔离TSN流量与普通数据，确保工业控制指令传输时延≤1ms；
- 入侵检测应部署基于AI的流量异常检测系统，识别DDoS攻击、非法OMCI配置等行为。

c) 平台层：

- 工业数据存储与传输需满足GDPR及《数据安全法》，采用同态加密或联邦学习实现数据可用不可见；
- 访问控制应基于零信任模型，动态校验用户身份（如多因子认证），权限粒度细化至设备级；
- 日志留存周期≥180天，支持操作溯源与合规性检查。

7.3 关键技术要求

- a) ONU设备入网需通过OLT的802.1X认证，支持证书与预共享密钥（PSK）双模式；
- b) 动态ACL策略限制非法终端接入，如仅允许特定MAC地址或IP段的设备访问TSN业务；
- c) 在标准OMCI协议中新增安全对象（如攻击特征库版本、加密算法状态），支持远程安全策略下发；
- d) 定义时间敏感网络（TSN）与PON GEM帧的映射规则，保留802.1Qbv调度优先级标记；
- e) 集成SOAR（安全编排与自动化响应）平台，实现光链路中断自动切换（MTTR≤30秒）。

7.4 安全测试与认证

整体工业PON系统应符合以下测试与认证：

- a) 极端环境可靠性测试（如85℃高温下光模块误码率BER≤1E-12）；

- b) OMCI通道抗中间人攻击测试，模拟篡改配置指令的拦截成功率 $\leq 0.1\%$;
- c) 千节点规模压力测试，确保安全策略下发延迟 $\leq 500\text{ms}$;
- d) 符合IEC 62443-4-1工业网络安全标准，通过渗透测试（如抗DDoS攻击能力 $\geq 10\text{Gbps}$ ）;
- e) 相应设备应取得中国网络安全审查技术与认证中心（CCRC）颁发的工业控制系统安全认证。

8 设备选型与配置

8.1 光接入设备类型

光接入系统基本构成应由光线路终端(OLT)、光分配网(ODN)、光网络单元(ONU)等部分组成，光接入系统应与接口设备、管理设备、交换机设备等共同组成用户业务网络。

8.1.1 OLT 设备

OLT设备应具备高带宽、高密度和高转发性能。

OLT设备宜支持大、中、小等不同的容量规格，大容量及中容量仅支持插卡式，小容量支持插卡式和单机版两种不同形态。框式OLT的业务槽位应可支持GPON板、XG-PON板、XGS-PON板、Combo-PON板、万兆以太网板上联板和100G以太网板上联板等单板的任意混插。OLT设备上的光接口使用光模块，应支持可插拔。

8.1.2 ONU 设备

8.1.2.1 室内型ONU

室内型ONU主要用于家庭或普通园区室内信息点位的接入，用于独立家庭、办公室、宿舍、病房及室内公共区域等场景，承载的业务主要是上网、电话、电视等业务，需满足以下要求：

- a) 应提供千兆网口；
- b) 应满足 $5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的工作温度；
- c) 应支持Type B双归属保护；
- d) 宜支持Type C双归属保护；
- e) 可支持电池备电；
- f) 可提供Wi-Fi无线接口和POTS接口。

8.1.2.2 室外型ONU

室外型ONU主要用于普通园区室外信息点位的接入，用于办公园区、教育园区、医疗园区的室外场景，承载的业务主要是视频监控、无线网络、门禁管理、停车管理等，需满足以下要求：

- a) 应支持多个（如：4个/8个/24个）千兆网口以上的接入能力；
- b) 应支持Type B双归属保护；
- c) 应满足 $-25^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ 工作温度；
- d) 防雷指标应不低于 4kV ；
- e) 针对摄像头、AP等接入场景宜支持POE供电能力；
- f) 宜支持电池备电。

8.1.2.3 工业现场型ONU

工业现场型ONU主要用于矿井通信、工业制造等场景，需满足以下要求：

- a) 应支持宽温环境工作要求，温度范围（-40℃~70℃）；
- b) 应支持宽湿度要求；
- b) 应支持抗强电磁干扰EMC4级；
- c) 应支持防护等级大于等于IP40；
- d) 应支持抗强振动；
- e) 应支持串口RS485业务数据接口；
- f) 应支持Type B双归属保护；
- g) 应支持TYPE C双归属保护。

8.2 OLT 设备接口要求

工业PON OLT设备的物理接口类型应符合《工业互联网联网技术无源光网络(PON)总体技术要求》中8.2条的要求

对于EPON接口类型，其物理层光接口应支持1000BASE-PX20+类型，具体应符合YD/T1688.2-2011中的相应规定。

对于10G-EPON 接口类型，其物理层光接口应支持PRX30类型(非对称)和PR30类型(对称)，具体应符合 YD/T 1688.4-2011中的相应规定。

对于GPON 接口类型，其物理层光接口应支持Class B+，可选支持Class C+及Class D类型，具体应符合YD/T 1688.3-2011中的相应规定。

对于XG-PON和XGS-PON接口类型，其物理层光接口应支持Class N1类型，可选支持Class N2类型，具体应符合YD/T1688.5-2012、YD/T1688.9-2018中的相应规定。

对于GPON/XG-PON合一接口类型，其物理层光接口应支持Class B+类型，可选支持Class C+及Class D类型，具体应符合YD/T 1688.8-2018中的相应规定。

对于GPON/XGS-PON合一接口类型，其物理层光接口应支持Class B+类型，可选支持 Class C+及Class D 类型，具体应符合YD/T 1688.10-2021中的相应规定。

对于采用非等分分光器的链型组网拓扑结构，当系统光功率预算无法满足特定数量ONU同时工作的需求时，可按需采用光功率预算指标更高的光接口类型。

对于工业PON OLT设备的上联业务板卡，所采用的GE电接口应支持10M/100M/1000M自适应能力。

工业 PON 网络一般为企业单独组网方式，考虑网络管理维护复杂性以及平滑升级演进，不建议在同一个工业 PON 网络中混用不同技术体系的 PON 板卡/设备。

8.3 光分路器技术要求

插片式和盒式光分路器指标要求应满足YD/T 2000.1-2014，光学性能应符合表1、表2。

表1 1×N PLC分路器光学特性

参数	单位	指标						
		1×4	1×8	1×16	1×24	1×32	1×64	1×64
工作带宽	nm	1260~1610						
								1310±40 1490±10 1550±40
插入损耗	dB	≤7.4	≤10.7	≤13.9	≤15.8	≤17.2	≤21.5	≤20.1
偏振相关损耗	dB	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.5	≤0.3
均匀性	dB	≤0.8	≤1.0	≤1.4	≤1.4	≤1.6	≤2.0	≤1.6
回波损耗	dB	≥55						
方向性	dB	≥55						
工作/贮存温度范围	℃	-40~+85						

注 1: 针对均分器件;

2: 光纤为单模光纤;

3: 所有参数测试不带连接器;

4: 带连接器PLC分路器的插入损耗均应加上相应连接器的附加损耗。

表2 2×NPLC分路器光学特性

参数	单位	指标						
		2×4	2×8	2×16	2×24	2×32	2×64	2×64
工作带宽	nm	1260~1610						
								1310±40 1490±10 1550±40
插入损耗	dB	≤7.4	≤10.7	≤13.9	≤15.8	≤17.2	≤21.5	≤20.1
偏振相关损耗	dB	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.3	≤0.5	≤0.3
均匀性	dB	≤0.8	≤1.0	≤1.4	≤1.4	≤1.6	≤2.0	≤1.6
回波损耗	dB	≥55						
方向性	dB	≥55						
工作/贮存温度范围	℃	-40~+85						

注 1: 针对均分器件;

2: 光纤为单模光纤;

3: 所有参数测试不带连接器;

4: 带连接器PLC分路器的插入损耗均应加上相应连接器的附加损耗。

8.4 ONU 设备接口技术要求

8.4.1 ONU 设备上行口要求

工业互联网用PON网络ONU设备的上行物理接口应符合《工业互联网用技术无源光网络(PON)总体技术要求》中9.2条的要求。

对于EPON接口类型，其物理层光接口应支持1000BASE-PX20+类型，具体应符合YD/T1688.2-2011中的相应规定。

对于10G-EPON接口类型，其物理层光接口应支持PRX30类型(非对称)和PR30类型(对称)，具体应符合YD/T1688.4-2011中的相应规定。

对于GPON接口类型，其物理层光接口应支持Class B+，可选支持Class C+及Class D类型，具体应符合YD/T1688.3-2011中的相应规定。

对于XG-PON和XGS-PON接口类型，其物理层光接口应支持Class N1类型，可选支持Class N2类型，具体应符合YD/T1688.5-2012、YD/T1688.9-2018中的相应规定。

8.4.2 ONU设备下行口要求

8.5.2.1 总体要求

工业互联网用PON网络ONU设备的下行物理接口应符合《工业互联网用技术无源光网络(PON)总体技术要求》中9.3条的要求。

8.5.2.2 以太网接口

工业互联网用PON网络ONU设备的用户侧以太网接口包括但不限于FE电接口、GE电接口、2.5GE电接口、5GE电接口、10GE电接口、10GE光接口。应用部署中可根据场景支持其中一种或多种用户侧接口。FE电接口应为10M/100M自适应接口，具体应支持IEEE 802.3i Type 10BASE-T、IEEE 802.3u Type 100BASE-TX类型。

GE电接口应为10M/100M/1000M自适应接口，具体应支持IEEE 802.3 Type 10BASE-T、IEEE 802.3u Type 100BASE-TX、IEEE 802.3ab Type 1000BASE-T类型。2.5GE电接口速率应支持10M/100M/1G/2.5G，应符合IEEE 802.3bz-2016标准5GE电接口速率应支持100M/1G/2.5G/5G，应符合IEEE 802.3bz-2016标准。10GE电接口应为10GBASE-T或10GBASE-X类型，10GE光接口应为10GBASE-R或10GBASE-X类型，应符合IEEE 802.3ae-2002标准。

ONU用户侧接口类型为FE电接口、GE、2.5G/5G、10GE电接口时，可选支持PoE(Power over Ethernet)功能，不同等级的PoE功能以及对于线缆类型的要求应符合IEEE 802.3af-2003、IEEE 802.3at-2009、IEEE 802.3bt-2018中的相应规定。

8.5.2.3 RS232/485接口(可选)

工业PON ONU设备可选配备RS232/485接口。其接口的电气特性、功能特性、规程特性应符合EIA-RS-232-C、TIA/EIA-485-A中的相应规定。

工业PON ONU设备用户侧各RS232/485(以下简称串口)接口之间，应能有效隔离，各个接口可以独立进行配置和数据通信。

串口应具备防雷击浪涌保护功能。

8.5.2.4 CAN接口(可选)

工业PON ONU设备可选配备CAN接口，其相关指标应满足ISO11898-1:2015的规定。

8.5.2.5 DI/DO(数字量输入/输出)接口(可选)

工业PON ONU设备可选配备DI/DO接口。

DI接口可支持有源或无源空触点输入。对于有源场景，支持的高电平信号应在10V~30V之间，低电平信号应在0V~10V之间。DO接口可支持有源或无源方式，接口可设置为电平方式或脉冲方式输出，脉冲输出时脉冲宽度可设定。

8.5.2.6 AI(模拟量输入)接口(可选)

工业 PON ONU设备可选配备AI接口，其支持的电压信号范围为 DC0~24V 的子集，支持的电流信号范围在 DC4mA~20mA。

8.5.2.7 POTS接口(可选)

工业 PON ONU 设备可选配备POTS接口以及对应的语音功能，相关指标应符合YD/T 1054-2000中的相应规定。

8.5.2.8 USB 接(可选)

工业PON ONU设备可选配备USB接口，其物理形态为Type A/B/C/Mini/Micro 中的一种或者多种，根据物理形态按需支持USB 2.0/3.0/3.1等细分版本的接口规范。

8.5.2.9 Wi-Fi(可选)

工业 PONONU设备可选支持Wi-Fi功能，以Wi-Fi AP方式连接下挂设备。当ONU具备Wi-Fi功能时，应支持IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 协议，相关指标应符合IEEE 802.11a-1999, IEEE 802.11b-1999, IEEE 802.11n-2009, IEEE 802.11ac-2013等标准中的规定；宜支持IEEE802.11ax协议，相关指标应符合IEEE802.11ax-2021中的规定。

8.5 工业环境适应性要求

本文件所规定的工业环境适应性要求包括气候、电磁兼容、绝缘、机械适应性和外部电源等，应满足YD/T 4651《工业互联网联网技术 无源光网络(PON)总体技术要求》中的规定。

9 设备安装设计

9.1 机房环境要求

9.1.1 传输机房设计的面积应结合工程远期发展需要，并应留有发展余地。

9.1.2 传输机房房屋净高不应低于 3.2m。

9.1.3 传输机房的温度、相对湿度、洁净度、电磁场干扰、噪声、照明等要求应符合现行行业标准《通信中心机房环境条件要求》YD/T 1821 的有关规定。

9.1.4 传输机房防静电要求应符合现行国家标准《防静电工程施工与质量验收规范》GB 50944 中的有关规定。

9.1.5 传输机房楼面均布活荷载值应符合现行行业标准《通信建筑工程设计规范》YD/T 5003 中的有关规定。

9.1.6 机房环境检查应包括下列内容：

- a) 机房内不得存放易燃、易爆等危险物品；
- b) 孔洞位置、尺寸应满足机房电缆布放要求；
- c) 孔洞封堵应采用不燃烧材料封堵；
- d) 设备和材料进场时，应进行检查验收，合格后方可安装。

9.2 机房平面与设备布置

9.2.1 机房平面布置应符合下列规定：

- a) 应根据近、远期规划统一安排，以近期为主，同时考虑远期的发展；
- b) 设备之间的布线路由应合理，减少往返，布线距离较短；
- c) 应便于维护、施工和扩容；

d) 应有利于抗震加固;

e) 应有利于提高机房面积利用率的基础上, 适当考虑机房的整齐和美观。

9.2.2 设备排列应符合下列规定:

a) 设备列间宜采用面对面或背对背的排列方式, 在原有机房装机, 宜采用与原机房设备布置一致的方式, 新建机房应根据设备情况, 在机房的楼面均布活荷载允许条件下宜采用背靠背双面排列方式;

b) 设备应排列在同一列内或相对集中;

c) 在条件允许的情况下, 光分配架排列宜相对集中。

9.2.3 机房设备列之间以及走道的宽度应根据机房荷载、设备重量以及维护空间要求确定, 标准机房应符合下表的规定。

表3 标准机房设备排列距离参考值 (m)

序号	名称	距离	备注
1	主走道宽度	≥ 1.3	单面排列机列机房
		≥ 1.5	双面排列机列机房
2	次走道宽度	≥ 0.8 ; 个别突出部分 ≥ 0.6	短机列时
		≥ 1.0 ; 个别突出部分 ≥ 0.8	长机列时
3	相邻机列面与面之间	1.2~1.4	
4	相邻机列面与背之间	1.0~1.2	
5	相邻机列背与背之间	0.7~0.8	
6	机面与墙之间	0.8~1.0	
7	机背与墙之间	0.6~0.8	

9.3 设备安装设计

9.3.1 设备安装应符合 YD / T 5139 《有线接入网设备安装工程设计规范》的相关规定。

9.3.2 根据工程情况, 设备安装宜采用上走线方式, 机房走线架的安装方式应符合 YD/T 5026 《电信机房铁架安装设计标准》的相关要求。

9.3.3 机架和网管设备的安装应按照 YD 5059 《电信设备安装抗震设计规范》的要求, 根据当地地震烈度采取相应的抗震加固措施。

9.4 线缆选择与布线设计要求

9.4.1 机房交流电源线、直流电源线、通信电缆、光缆应按不同路由分开布放设计。设计时通信电缆与电力电缆相互之间距离应保持至少 50mm 以上。

9.4.2 布线设计路由要求距离短、整齐美观, 且应考虑不影响今后扩容时设备的安装及线缆布放。线缆布放设计位置应合理, 不得妨碍或影响日常维护、测试工作的进行。

9.4.3 光纤连接线布放路由宜设计在专用的光纤槽道内, 当与其他通信线共槽道或走线架布放时, 设计中应采取保护措施。

9.4.4 机房之间有光纤连接需求时应采用光缆。

9.4.5 电源主干馈电线宜采用铜排或铜芯电缆, 列柜至机架布线宜采用铜芯电缆。

9.4.6 列柜保护地线以及列主干保护地线宜选用铜芯电缆。

9.4.7 网管系统的通信电缆应根据传送信号速率选用相应型号、规格的线缆。

9.5 电源系统与接地

9.5.1 直流供电系统应满足下列要求：

- a) 设备宜采用-48V直流供电，其输入电压允许变动范围为-40V~ -57V；
- b) 传输机房列柜可从电源分支柜引接或直接从直流配电屏引接；
- c) 设备的直流供电系统，应结合机房原有的供电方式，采用按列辐射方式馈电，在列内通过列头柜分熔丝按架辐射至各机架；
- d) 不得用两只小负荷熔丝并联代替大负荷熔丝使用。

9.5.2 电源线截面的选取应根据供电段落所允许的压降数值确定。

9.5.3 设备所需的-48V 直流电源系统布线设备应采用主备电源线分开引接的方式。

9.5.4 列柜的选用应满足下列要求：

- a) 列柜的容量以及负荷应按整列进行配置；
- b) 列柜每个二级熔丝的容量应根据设备满配置耗电量的1.5~2倍来核算；
- c) 带电更换列柜二级熔丝时应不影响列柜中其他电源系统的工作。

9.5.5 交流 220V 电源应满足下列要求：

- a) 远端设备安装在非电信专用机房内或机房外时，可采用交流220V供电；网络管理设备宜采用交流220V供电；
- b) 配置网络管理设备的局站应采用不间断电源（UPS）供电系统或逆变器供电系统供电。

9.5.6 地线应符合下列要求：

- a) 传输机房的工作接地、保护接地和防雷接地宜采用分开引接方式；
- b) 工作地线宜采用单独接引至列头柜或由电源分支柜引接至列头柜，列内通过列头地线排辐射至各机架；
- c) 保护地线宜采用电力电缆从电力室地线排或适当接地点直接引接至列头柜，或由电源分支柜地线排引接至列头柜，列内采用单独接引至各机架；
- d) 在接入网节点或小型通信局（站）内，光缆金属加强芯和金属护层应在分线盒内可靠接地，并应采用截面积不小于16mm²的多股铜线就近引到局（站）内总接地排上。在通信大楼内的光缆金属加强芯和金属护层应在ODF架内与接地排连接，并应采用截面积不小于16mm²的多股铜线就近引到该楼层接地排上；当离接地排较远时，可就近从传输机房内楼柱主钢筋引出接地端子作为光缆的接地点。
- e) 有线接入网远端室外设备应设置地线，地线的接地电阻应小于或等于10Ω。

9.5.7 局端设备及远端室内设备的防雷接地设计应符合 GB 50689《通信局（站）防雷与接地工程设计规范》的相关规定。

9.5.8 设备抗震要求

局端设备及远端设备的抗震设计应符合GB/T 51369《通信设备安装工程抗震设计标准》的相关规定。

10 光分配网（ODN）设计

10.1 光分配网（ODN）组成

ODN网络主要由光缆、光缆接头盒、光分路器、光缆线路终端设备、光缆交接箱、光缆分纤箱、光纤插座盒或用户智能终端盒等组成。

10.2 光分配网（ODN）组网及路由选择

10.2.1 ODN网络组网应根据用户性质、用户密度的分布情况、地理环境、管道资源等多种因素综合考虑,选择合适的结构和配纤方式。

10.2.2 ODN的设计应符合以下原则:

- a) ODN应安全可靠, 向下逐步延伸至用户接入设备;
- b) ODN的容量和路由应综合考虑远期业务需求和网络技术发展趋势, 确定建设规模;
- c) 同一路由上的光缆容量应综合考虑, 不宜分散设置多条小芯数光缆;
- d) 光缆芯数可按终期需求配置, 并留有足够冗余。

10.2.3 ODN的拓扑结构选择应符合以下原则:

- a) 承载普通业务的ODN线路宜采用树形拓扑结构;
- b) 承载重要业务及对可靠性要求较高的业务, ODN线路可采用具有保护的拓扑结构。

10.2.4 光缆网络配纤方式

- a) ODN覆盖区域内可选用树形递减直接配纤方式、树形递减交接配纤方式、树形无递减交接配纤方式或环形无递减交接配纤方式;
- b) 选择配纤方式应有利于减少光纤线路的活动连接点数量;
- c) 重要业务节点上联和互联的线路, 可采用环形无递减交接配纤方式。

10.3 光缆、光分路器、其他配线设施技术要求

10.3.1 工业互联网用PON网络中使用的光缆宜使用G.652单模光纤, 当需要抗微弯光纤光缆时, 宜采用G.657光纤。

10.3.2 光缆中光纤数量的配置应充分考虑到网络冗余要求、网络可靠性、新业务发展、光缆结构和光纤资源共享等因素。

10.3.3 光缆结构宜使用松套层绞式、中心管式, 也可使用骨架式或其他更为优良的方式。同一条光缆内宜采用同一类型的光纤, 不宜混纤。

10.3.4 当敷设环境有特殊要求时根据实际情况选用特殊光缆。如防蚁光缆、耐高温光缆、非金属光缆等。

10.3.5 光缆的其他性能应符合GB 51158《通信线路工程设计规范》中的相关规定, 特殊场景需求应符合设计要求。

10.3.6 光分路器宜采用全带宽型和均匀分光型的平面波导型光分路器。

10.3.7 光分路器选用的端口类型应符合以下要求:

- a) 既要考虑方便维护管理的需要, 又要考虑减少活动连接点的数量;
- b) 当光分路器安装点的光缆成端不配置适配器时, 宜选用适配器型(含插头和适配器)光分路器;
- c) 当光分路器安装点的光缆成端配置适配器时, 宜选用尾纤型(含插头)光分路器;

d) 在需要减少活动连接器数量时，可选择熔接型光分路器。

10.3.8 光分路器引出尾纤可采用外护套直径为 0.9mm、2.0mm 或 3.0mm 的尾纤。其引出长度不宜超过 1.5m。

10.3.9 常用光分路器的分路比有 $1 \times N$ 和 $2 \times N$ (N 为 2、4、8、16、32、64 和 128 等) 等种类，应根据 ODN 设计的最大光分路比、分光方式、系统衰减要求、保护方式进行选择。

10.3.10 光分路器光学特性应符合 YD/T 2000.1《平面光波导集成光路器件 第 1 部分：基于平面光波导(PLC)的光功率分路器》的要求。

10.3.11 其他配线设施技术要求应满足 GB 51158《通信线路工程设计规范》中的要求。

10.4 光缆敷设设计要求

10.4.1 光缆敷设的设计应符合 GB 51158《通信线路工程设计规范》的相关要求。

10.4.2 光缆在厂区、园区、车间内敷设时，光缆路由及敷设方式应满足厂区、园区、车间对防强电、防火、防静电、防尘、防水等相关要求，并同时做好相应的防护措施。

10.4.3 光缆的敷设方式应与厂区、园区、车间整体风格适应，应符合厂区、园区、车间的相关要求。

11 工程施工

11.1 施工前检查

11.1.1 进行光(电)缆和器材检验时，应有建设方代表或监理方代表和施工方代表同时在场。检查结果需要各方共同签字确认。

11.1.2 光(电)缆和其他线路器材的程式、规格、型号、数量等应符合设计规定。光(电)缆、硅芯塑料管的随盘出厂资料及其他线路器材的出厂资料应齐全，应有产品质量检验合格证及厂方提交的产品测试记录。不符合设计要求或无出厂检验合格证的线路器材不得在工程中使用。

11.1.3 光(电)缆和设备及器材应进行外观检查，包装应完整，外包装应标注程式、规格、型号和数量。

11.1.4 缆线外包装和外护套应完整无损，光(电)缆端头及硅芯塑料管端头封装应完好。

11.1.5 光(电)缆开盘检验时应核对光(电)缆的实际 A、B 端别，并在缆盘上正确醒目的标注。

11.1.6 光(电)缆及其他线路器材经过检验后应做好记录。

11.1.7 接头盒、交接箱、电杆等光缆线路材料的检查应符合 GB 51171《通信线路工程验收规范》中的相关规定。

11.2 光缆单盘检验

11.2.1 单盘光缆的主要检验项目应包括光纤长度复测、光纤损耗测量、光纤后向散射信号曲线观察。

11.2.2 光纤传输特性应符合设计要求，盘长应符合设计规定并与出厂标称长度吻合。

11.3 设备及施工机具仪表检查

11.3.1 设备成品外观完好，无损坏、变形、脏污；外箱标贴应完好，字迹清晰完整，标签条形码应可辨、能扫描。

11.3.2 依据设备装箱单对设备实物逐一核对，确认合同号、收货单位、工程名称、包装箱号、包装箱件数等准确无误，并做好记录。

11.3.3 检查设备出厂测试记录，并满足设计要求。

11.3.4 施工机具应经检查确认符合要求后，方可使用。

11.3.5 手持式电动工具的电源线应采用橡胶护套铜芯软电缆，中间不得有接头。

11.3.6 工程中使用的仪器、仪表，应在检定或校准的有效期内。

11.4 设备安装施工要求

11.4.1 机架的安装应符合下列规定：

- a) 各种机架的安装位置应符合设计要求，其偏差不应大于10mm；
- b) 各种机架的安装应端正牢固，垂直度偏差不应超过机架高度的1.0‰；
- c) 列内机架应相互靠拢，机架间隙不应大于3mm并应保持机架门开关顺畅；机面应平直，每米偏差不应大于3mm，全列偏差不应大于15mm；
- d) 在铺设了防静电地板的机房安装设备，设备下面应安装机架底座，底座安装应满足设备安装要求；
- e) 机架的抗震加固应符合设计要求；
- f) 设备端子板的位置、安装排列顺序及各种标识应符合设计要求；
- h) ODF上的光纤连接器安装应牢固，方向一致，盘纤区固定光纤的零件应安装齐备；
- i) 机架和部件以及其接地线应安装牢固，防雷地线与设备保护地线安装应符合设计要求。

11.4.2 设备子架的安装应符合下列规定：

- a) 设备子架安装位置应符合设计要求；
- b) 子架与机架的加固应牢固、端正，符合设备装配要求，不得影响机架的整体形状和机架门的顺畅开合；
- c) 子架上的饰件、零配件应装配齐全，接地线应与机架接地端子可靠连接；
- d) 子架内机盘槽位应符合设计要求，插接件接触良好，空槽位宜安装空机盘或假面板。

11.5 电缆选择与布线施工要求

11.5.1 通信电缆选择应满足传输速率、衰耗、特性阻抗、串音防卫度和耐压等指标的要求，通信电缆应具备阻燃功能。

11.5.2 机房交流电源线、直流电源线、通信电缆、光缆应分开布放。通信电缆与电力电缆相互之间的距离，应保持50mm以上。

11.5.3 布线应整齐且距离短，并应便于后期扩容时设备安装及线缆布放。

11.5.4 线缆布放位置应合理，不得妨碍或影响日常维护、测试工作的进行。

11.5.5 通信电缆的布放和成端应符合下列规定：

- a) 电缆规格程式、布放路由应符合设计要求；
- b) 电缆在槽道内或走线架上布放应顺直，捆扎牢固，松紧适度，没有明显的扭绞，布放的电源线中间严禁有接头；
- c) 电缆成端处应留有富余量，成束缆线留长应保持一致；
- d) 电缆开剥尺寸应与缆线插头(座)的对应部分相适合，成端完毕的插头(座)尾端不应露铜；
- e) 芯线焊接应端正、牢固、焊锡适量，焊点光滑、圆满、不成瘤形；
- f) 电缆屏蔽网剥头长度应一致，并应保证与连接插头的接线端子外导体接触良好；

- g) 非屏蔽五类及五类以上电缆的成端，每对对绞线应保持扭绞状态，扭绞松开长度不应大于13mm；
- h) 屏蔽对绞电缆的屏蔽层与接插件成端处屏蔽罩应可靠接触，缆线屏蔽层应与接插件屏蔽罩360°圆周接触，接触长度不宜小于10mm；
- i) 安装好的缆线插头(座)应配件齐全、位置正确、装配牢固。

11.5.6 尾纤及跳纤布放应符合下列规定：

- a) 光纤连接线宜布放在光纤护槽内，应保持光纤顺直，无明显扭绞；无光纤护槽时，光纤连接线应加穿光纤保护管，保护管应顺直绑扎在电缆槽道内或走线架上，并应与电缆分开放置；收信发信排列方式应符合维护习惯；
- b) 应避免跨机房布放光纤连接线，机房之间有光纤连接需求时应通过机房间的中继光缆连接；
- c) 不同类型纤芯的光纤连接线外皮颜色应符合设计要求；
- d) 光纤连接线从护槽引出宜采用光纤保护管保护；
- e) 光纤连接线活接头处应留富余，余长应依据接头位置等情况确定，不宜超过2m；光纤连接线余长部分应整齐盘放，曲率半径不应小于40mm；
- f) 光纤连接线应整条布放，中间不得做接头；
- g) 光纤连接线两端应粘贴标签，标签应贴整齐一致，标识应清晰、准确，文字应规范。

11.6 光分配网（ODN）施工要求

11.6.1 光缆的型号选择、路由选择、敷设方式相关保护措施的选择应符合 GB 51158《通信线路工程设计规范》、GB 51171《通信线路工程验收规范》中相关要求。

11.6.2 在有防腐蚀、防潮、耐高温、防爆等特殊要求的场景敷设光缆时，光缆型号的选择及所用其它材料的选择应满足相关要求。

11.6.3 路面微槽光缆的敷设应符合 YD / T 5206-2023《宽带光纤接入工程技术规范》中的规定。

11.6.4 光缆在厂区、园区、车间内敷设时，同时应满足厂区、园区、车间对防强电、防火、防静电、防尘、防水等相关要求，并同时做好相应的防护措施；线缆布放应整齐美观与厂区、园区、车间整体风格适应。

11.6.5 光缆在厂区、园区、车间内敷设时，施工车辆及施工人员应遵循厂区、园区、车间的相关规定。

11.6.6 光缆成端与接续应满足下列要求：

- a) 光缆在厂区、园区、车间内接续及在终端设施上成端时，应满足厂区、园区、车间对防强电、防火、防静电、防尘、防水等相关要求，并同时做好相应的防护措施；
- b) 光缆在光缆交接箱、分纤箱、光分路箱、智能终端盒和光纤插座盒等设施处的成端应符合以下要求：
 - 光纤成端的制作方式、光纤活动连接器的型号应符合要求；
 - 成端光纤与尾纤接续的方式应符合要求，尾纤余留长度适中；
 - 未使用的活动连接器或活动连接器插头应盖上防尘帽。

11.7 测试要求

11.7.1 ODN 测试

- a) 应进行ODN光纤链路的衰减测试，ODN合路光纤段、支路光纤段的光纤衰减和ODN光纤链路全程衰减应符合设计要求；
- b) 应根据接入的业务类型，分别测试ODN链路相对应的上行和下行波长的衰减，测试结果应符合设计要求。

11.7.2 设备功能检测

- a) 启动及上电加载完成后，系统状态应正常；
- b) 掉电重启后，业务应能快速恢复；
- c) OLT的电源机盘、交换控制机盘、时钟机盘等主用和备用之间应能实现人工/自动倒换功能；
- d) 应支持机盘热插拔功能，在设备运行情况下，机盘复位后应能恢复正常，且不影响其他机盘的正常运行，业务机盘的热插拔应不影响其他机盘上的业务；
- e) 应能对系统数据提供备份和灾难恢复功能，EMS应支持数据库备份、恢复和复制功能；
- f) 检查电源故障、机盘失效、机盘缺失、ONU/ONT 断纤 (LoS) 等告警功能应符合设备技术规定的要求。

11.7.3 单机检查测试

- a) 测试OLT设备PON接口平均发射光功率、接收灵敏度应符合设计要求；
- b) 测试OLT设备以太网光接口平均发射光功率、接收灵敏度应符合设计要求；
- c) 测试OLT设备以太网电接口连通性、接口自动协商功能应符合设计要求；
- d) 测试OLT设备STM光接口平均发射光功率、接收灵敏度应符合设计要求；
- e) 测试ONU/ONT设备PON接口平均发送光功率、接收灵敏度应符合设计要求。

11.7.4 系统测试

工业互联网用PON网络工程的系统测试方法及步骤参考YD / T 4498-2023《工业互联网联网技术无源光网络 (PON) 网络测试方法》执行。

12 节能环保与安全生产要求

12.1 节能环保要求

- 12.1.1 在设备选型时，应优先选择节能型设备，采用低功耗、高效率的技术。
- 12.1.2 所用设备及材料应符合国家或行业的环保标准，减少对环境的污染。
- 12.1.3 应控制施工过程中的噪音和扬尘，避免对周边居民和生态环境造成影响。
- 12.1.4 施工废弃物应妥善处理，鼓励回收再利用，减少环境污染。
- 12.1.5 对可利用现有通信设施尽量利用，减少对新建资源的投入。
- 12.1.6 光缆线路的敷设过程中，应考虑土地资源的占用，避免造成土地资源浪费。
- 12.1.7 项目建设中对环境的保护应符合 GB / T 51391-2019《通信工程建设环境保护技术标准》中的相关要求。

12.2 安全生产要求

- 12.2.1 在工程建设过程中应严格遵守《通信建设工程安全生产操作规范》中的相关规定。

12.2.2 在各类厂区、园区、车间进行施工时应遵守该厂区、园区、车间对人员、车辆管理的要求。

12.2.3 在各类厂区、园区、车间进行施工时应遵守该厂区、园区、车间对防火、防尘、防爆、防水等要求。

13 竣工文件

13.1 竣工文件组成

13.1.1 工程完工后，施工单位应及时编制竣工文件，并提交建设单位，份数应为一式三份。

13.1.2 竣工技术资料应内容齐全、数据准确，并应包括下列内容：

- a) 工程说明；
- b) 开工报告；
- c) 工程量总表；
- d) 已安装设备、器材明细表；
- e) 工程设计变更单；
- f) 洽商记录；
- g) 停(复)工报告；
- h) 重大工程质量事故报告；
- i) 隐蔽工程/随工验收签证；
- j) 阶段验收报告；
- k) 交(完)工报告；
- l) 验收证书；
- m) 图纸；
- n) 测试报告；
- o) 工程交接书。

13.2 竣工文件要求

13.2.1 内容应齐全，按规定内容应没有缺页、漏项、颠倒现象。

13.2.2 施工中未对设计图纸变更的，设计图纸可作为竣工图纸，个别变动的，可在原设计图纸上改绘为竣工图纸，当较大变动或原设计图纸无法改绘时，应重新绘制，无论是原施工图纸、改绘图还是重新绘制的竣工图，都应加盖竣工图章。

13.2.3 测试记录数据应真实准确。

13.2.4 文件资料书写应字迹清楚、版面整洁、规格一致，装订应符合归档要求。

13.2.5 竣工文件可按单项工程装订成册，内容较多时，可分册装订。

14 工程验收

14.1 随工检验

14.1.1 通信线路工程在施工过程中应采取巡视、旁站等方式进行随工检验。隐蔽工程部分应进行隐蔽工程验收,并应签署“隐蔽工程检验签证”。

14.1.2 光(电)缆线路工程的质量随工检验内容参考下表。

表4 通信线路工程检验内容表

检查项目	检查内容	检验方式
器材检验	光(电)缆单盘检验、接头盒(套管)等器材质量、数量	旁站
直埋光(电)缆	1. 光(电)缆规格、路由走向(位置)。 2. 埋深及沟底处理。* 3. 光(电)缆与其他地下设施间距。* 4. 引上管及引上光(电)缆安装质量。 5. 回填土夯实及回填土质量。 6. 沟坎加固等保护措施质量。* 7. 防护设施规格、数量及安装质量。 8. 光(电)缆接头盒、套管的位置、深度。* 9. 标石埋设质量。 10. 回填土质量。	巡视、旁站结合
管道光(电)缆	1. 塑料子管规格、质量。 2. 子管敷设安装质量。 3. 光(电)缆规格、占孔位置。 4. 光(电)缆敷设、安装质量。 5. 光(电)缆接续、接头盒或套管安装质量。 6. 人孔内光缆保护及标志吊牌。	巡视、旁站结合
架空光(电)缆	1. 立杆洞深。* 2. 吊线、光(电)缆规格、程式。 3. 吊线安装质量。 4. 光(电)缆敷设、安装质量,包括垂度。 5. 光(电)缆接续、接头盒或套管安装及保护。 6. 光(电)缆杆上等预留数量及安装质量。 7. 光(电)缆与其他设施间隔及防护措施。 8. 光(电)缆警示宣传牌安装。	巡视、旁站结合
局内光(电)缆	1. 局内光(电)缆规格、走向。 2. 局内光(电)缆布放安装质量。 3. 光(电)缆成端安装质量。 4. 局内光(电)缆标志。 5. 光(电)缆保护地安装。	旁站

注:“*”标记内容为隐蔽项目。

14.1.3 设备安装工程随工检验内容参考下表。

表5 设备安装工程检验内容表

检查项目	检查内容	检验方式
系统设备	1. 规格、容量。 2. 安装位置及安装工艺。 3. 抗震加固措施。 4. 接地措施。	随工检验

14.2 工程初步验收

14.2.1 通信线路、系统设备安装工程施工结束,施工单位向建设单位提交完工报告、竣工资料后,建设单位应组织设计、监理和施工单位对工程进行竣工验收。

14.2.2 工程初步验收指标及要求应符合设计文件的规定以及相关技术体制。

14.2.3 初验应对通信线路、系统设备安装工程安装工艺进行抽查，对线路的主要技术指标进行复测，工程各部分的竣工验收项目、内容及抽验比例参考下表。

表6 验收内容及抽样比例表

检查项目	检查内容	检验方式
安装工艺	1. 路由走向及敷设位置。 2. 埋式路段的保护、标志牌、标石的安装位置、规格、符号和编号、面向等。 3. 水底光（电）缆的走向、安装质量、标志规格、位置。 4. 架空光（电）缆安装质量、接头盒及余留光缆安装，杆路与其他建筑物的间距及电杆避雷线安装等。 5. 管道光（电）缆安装质量、接头盒及余留光缆安装、光缆与子管的标识。 6. 局内光（电）缆走向、光缆预留长度、ODF 架安装质量、光（电）缆标志。 7. ODF 架上光缆的接地。	按 10%左右的比例抽查
主要传输特性	1. 光纤平均接头损耗及接头最大衰减。 2. 光纤后向散射曲线检查。 3. 光纤线路衰减（dB）、衰减系数（dB/km）、光纤通道总衰减（dB）、偏振模色散系数（注）。 4. 电缆绝缘电阻。 5. 电缆的环阻测试。 6. 电缆的近端串音测试。	按需
光缆护层完整性	在对地绝缘监测装置的引线上测量金属护层对地绝缘电阻（埋式光缆）。	按 15%左右的比例抽查
设备、光缆接地	1. 接地位置。 2. 接地电阻。	全部

注：工程设计或业主对光线线路色散与偏振模色散(PMD)有具体要求时，应进行色散及偏振模色散(PMD)测试。

14.2.4 已取得随工验收签证的安装和测试项目，在初步验收阶段可不再检验，验收小组认为有必要复验的，可进行复测验证。

14.2.5 初验阶段除按本文件的内容验收外，还应对工程资料进行全面检查评议。

14.3 工程试运行

14.3.1 通信线路、系统设备安装工程经初验合格后，应按要求的试运行期组织工程产品试运行。

14.3.2 工程试运行应由维护部门或建设单位委托的代维单位进行试运行期维护，并应全面考察工程质量，发现问题时应由责任单位返修。

14.3.3 工程试运行结束，维护部门应向工程建设部门提供工程试运行情况报告。

14.4 工程终验

14.4.1 工程终验应在初验合格并经试运行且工程遗留问题已经解决后进行。

14.4.2 终验可对系统性能指标进行抽测。

14.4.3 工程终验应对工程质量及档案、工程决算等进行综合评价，并应对工程设计、施工、监理以及相关管理部门的工作进行总结。工程验收通过后应发出验收证。