

T/CAICI

中国通信企业协会团体标准

T/CAICI XXXX—XXXX

空芯光纤光缆工程技术规范

Technical Specifications for Hollow-core Fiber Cable Engineering

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国通信企业协会 发布

目 次

前 言 III

1 总则 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

4 光缆与配套器具选型 2

 4.1 光缆结构选型 2

 4.2 厂验 3

 4.3 配套器具选型 6

5 设计 6

 5.1 路由规划设计 6

 5.2 光缆配盘设计 7

 5.3 光缆敷设设计 7

 5.4 熔接与测试体系设计 9

 5.5 防护与预防设计 10

6 施工 10

 6.1 施工前准备 10

 6.2 光缆敷设 12

 6.3 熔接施工 15

 6.4 接头盒安装 16

 6.5 入局成端 16

7 验收测试 16

 7.1 测试环境与条件 16

 7.2 测试指标与限值 16

 7.3 测试流程 17

 7.4 测试数据存留 17

 7.5 竣工资料与三方验收 17

8 运行维护 18

 8.1 日常巡检与监测 18

 8.2 故障定位 18

 8.3 进水长度判断与处理 18

 8.4 熔接修复 19

 8.5 备件与人员管理 19

条 文 说 明 20

4 光缆与配套器具选型 20

 4.1 光缆结构选型 20

5 设计 21

5.1 路由规划设计 21

5.3 光缆敷设设计 21

5.4 熔接与测试体系设计 22

6 施工 23

6.2 光缆敷设 23

6.4 接头盒安装 24

6.5 入局成端 24

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标准化管理委员会提出并归口。

本文件起草单位：华信咨询设计研究院有限公司 中国电信股份有限公司浙江分公司 上海邮电设计咨询研究院有限公司 浙江邮电工程建设公司 广东省电信规划设计院有限公司 中通服咨询设计研究院有限公司 四川电信规划设计研究院 长飞光纤光缆股份公司 烽火通信科技股份有限公司 江苏亨通光电股份有限公司 江苏中天科技股份有限公司

本文件主要起草人：沈梁 杜明华 俞黎华 林银 金超标 傅强 朱兵兵 陈浩亮 章沪江 黄金柳 王星 王晖 张晏铭 李仲平 邹富坚 王传瑞 王睿 陈俊宇 赵从权 孙志雄 周钦敏 胡古月 费华青 黄峰

本文件为中国通信企业协会首次发布。

空芯光纤光缆工程技术规范

1 总则

- 1.0.1 为规范空芯光纤光缆线路工程建设，确保其超低时延、超低损耗、超低非线性等核心技术优势在工程应用中有效落地，特制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于采用反谐振型空芯光纤的通信光缆线路工程，涵盖工程设计、施工、验收、维护及测试等全生命周期。

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/T 15972.40-2024 光纤试验方法规范 第40部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 衰减

GB/T 15972.42 光纤试验方法规范 第42部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 色散

GB/T 15972.48-2026 光纤试验方法规范 第48部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 偏振模色散

GB/T 7424 光缆总规范系列标准

GB/T 18380.12-2022 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验

YD/T 5102 通信线路工程技术规范

ITU-T G.652 / G.654 / G.657 系列建议书

ITU-T G.650.2 单模光纤的统计和非线性相关定义和测试方法

CCSA SR498-2024 基于空芯光纤的超高速光传输技术研究

CCSA SR543-2025 空芯光纤技术研究

3 术语、定义和缩略语

本规范采用下列符号和术语。

术语/符号	英文全称	中文解释
HCF	Hollow-Core Fiber	空芯光纤。以空气或惰性气体为核心传输介质，通过反谐振或光子带隙导光机制实现光信号约束传输的新型光纤。

术语/符号	英文全称	中文解释
SMF	Single-Mode Fiber	单模光纤，本规范中指常规 G. 652D 或 G. 654E 光纤。
ADSS	All-Dielectric Self-Supporting	全介质自承式光缆。一种无金属加强构件、依靠自身抗拉强度架空敷设的光缆，适用于高电压、大跨度场景。
OSNR	Optical Signal-to-Noise Ratio	光信噪比。评估系统传输性能的核心指标。
IMI	Intermodulation Interference	模间干扰。空芯光纤中高阶模与基模耦合导致的干扰，空芯光纤特有指标。
PMD	Polarization Mode Dispersion	偏振模色散。
PMDQ	Polarization Mode Dispersion Coefficient	偏振模色散系数。表征光纤链路中偏振模色散（PMD）大小的量化指标，单位为 ps/√km（或 ps/km ^{1/2} ）。
CD	Chromatic Dispersion	色度色散。
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer	光时域反射仪。用于光纤链路衰减和故障定位测试。
MFD	Mode Field Diameter	模场直径。
PBT	Polybutylene Terephthalate	聚对苯二甲酸丁二醇酯，松套管常用材料。
HDPE	High-Density Polyethylene	高密度聚乙烯，护套常用材料。
LSZH	Low Smoke Zero Halogen	低烟无卤阻燃材料。
PE	Polyethylene	聚乙烯。
APL	Aluminum Polyethylene Laminate	铝塑复合防潮层。
PSP	Corrugated Steel Tape Armor	皱纹钢带铠装。
IP68	Ingress Protection 68	防护等级，完全防尘并可在持续浸水条件下无影响。
ODF	Optical Distribution Frame	光纤配线架。

4 光缆与配套器具选型

4.1 光缆结构选型

4.1.1 基本原则

空芯光纤光缆应优先选用双护套松套层绞式室外光缆结构（如GYTZA53或GYTA53衍生型号），不建议采用中心束管式或紧套式结构。

4.1.2 松套层绞式结构应满足下列要求：

- 1 松套管材料应采用PBT，标称内径宜为2.8mm。
- 2 单管内空芯光纤芯数不应超过4芯。
- 3 管内应填充防水油脂。

4.1.3 光缆结构设计应符合下列要求：

- 1 加强芯应采用套塑钢丝，钢丝外径2mm，套塑直径2.6mm。
- 2 铠装应采用涂塑钢带，钢带厚度不应小于0.20mm，涂塑标称厚度0.05mm。
- 3 内护套应采用HDPE护套料，壁厚不应小于2.0mm。

4 外护套应采用尼龙或PE材料，标称壁厚0.5mm。机房内引入段应采用阻燃型低烟无卤（LSZH）外护套。

4.1.4 空芯光缆内应同时放置空芯光纤与少量常规单模光纤（G.652D或G.654E），不宜采用全空芯结构。混合成缆的目的包括：

- 1 同缆内保留常规单模光纤，便于对比测试、校准工艺，降低批量成缆风险。
- 2 空芯光纤应置于独立套管，采用柔性绞合，以保护脆弱空芯结构。
- 3 常规单模光纤可作为“监控纤”，用于运维时快速判断故障点。
- 4 核心链路宜设计主用空芯光纤与备用实芯光纤双路由。

4.1.5 空芯光缆芯数不宜超过24芯。

4.1.6 光缆端头应实施“光纤端面紫外固化胶—光缆断面密封胶—外层热缩管”三级防水密封。

4.1.7 不同敷设方式的光缆选型应符合表4.1-1的要求。

表4.1-1 不同敷设方式的光缆选型要求

敷设方式	选型要求
管道敷设	应选用管道型防鼠防蚁光缆，松套层绞结构，护套选用低摩擦 HDPE 材料，外径适配现有管孔（孔径≥40mm）。
直埋敷设	应选用铠装空芯光缆，采用“钢带铠装+PE 外护套”双层防护结构，具备防水、防腐蚀特性。
架空敷设	宜选用铠装空芯光缆，可选用全介质自承式（ADSS）空芯光缆，护套选用抗紫外、耐老化 PE 材料，增加芳纶纱加强芯。
入局敷设	应选用阻燃型低烟无卤（LSZH）空芯光缆，端头保持长期密封。

4.2 厂验

4.2.1 厂验应验证光缆供应商提供的产品满足合同技术规范书中的所有要求，确保出厂产品的合格性与一致性。

4.2.2 厂验应采用随机抽样方法，抽测比例不应小于每个品种的10%。

4.2.3 厂验应包含表4.2-1所列项目，并应符合相应指标要求。

表4.2-1 空芯光纤光缆厂验关键测试项目与指标

序号	检查项目	测试要求
1	光缆包装与外观	光缆盘完好，标志清晰；端别、型号、长度等标识准确。

序号	检查项目	测试要求
2	光缆结构参数	中心加强芯、光纤/松套管色谱、端别、搭接宽度、护套厚度、钢带与 PE 撕裂强度等符合设计。
3	光纤几何特性	空芯光纤：包层直径 $210\sim 235\pm 3\mu\text{m}$ ，光纤在 1550nm 处的模场直径 $18\sim 22\pm 1\mu\text{m}$ 。
4	光纤衰减特性	空芯光纤：1550nm/1625nm $\leq 0.20\text{dB/km}$ 。
5	光缆中光纤色散	空芯光纤：1550nm 色散 $0\sim 5\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ，不含 5； 光纤在 1550nm 波长处的色散斜率（可选） $0\sim 0.03\text{ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$ （含 0.03）
6	空芯光纤接续特性	①两根空芯光纤熔接损耗 $\leq 0.1\text{dB}$ （双向平均）。 ②空芯与 G.652D 尾纤连接衰减 $\leq 0.6\text{dB}$ ，回损 $\leq -50\text{dB}$ 。
7	光缆中光纤 PMD	空芯光纤：单盘 $\leq 0.2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 。
8	空芯光纤时延性能	1550nm 波长传输时延 $\leq 3.5\mu\text{s/km}$ 。
9	光纤机械性能	光纤筛选、涂层剥离力、光纤抗张强度、动态疲劳参数 nd、涂层剥离力、环境性能后机械性能
10	光纤环境性能	衰减、湿热、浸水、干热、进水速度、吸收峰随时间演进情况
11	光缆机械性能	拉伸、护套磨损、压扁、冲击、反复弯曲、扭转、弯折、卷绕
12	光缆环境性能	温度循环、浸水试验、火花试验、滴流性能
13	光缆工程验证	连接器高低温循环、双 85 试验、光缆带张力复绕倒 8 字、光缆长期高温、长期低温、密封接头振动、光缆低温弯曲等
14	光缆燃烧特性	阻燃光缆应通过单根垂直燃烧试验（GB/T 18380.12）。
15	光缆材料性能	聚乙烯护层断裂强度、断裂伸长率、回缩率等符合合同要求。

4.2.4 衰减测试应符合下列要求：

- 1 测试波长：以1550nm为主，1310nm可选。
- 2 测试方法：应采用插入损耗法（光源+功率计）和OTDR后向散射法。
- 3 OTDR设置：折射率应设为1.003，动态范围不应小于45dB，脉宽宜为20ns~30ns。
- 4 验收指标：
 - （1）成缆后1550nm和1625nm波长光缆的最大衰减系数 $\leq 0.15\text{dB/km}$ 。

- (2) 成缆后1523~1627nm波长范围内按照1nm分辨率测试的最大衰减系数值 $\leq 0.2\text{dB/km}$ 。
- (3) 成缆后光纤在1550nm/1625nm的最大双向衰减系数差 $\leq 0.02\text{dB/km}$ 。
- (4) 成缆前光纤在1523~1627nm波长范围内最大附加气体吸收损耗 $\leq 0.10\text{dB/km}$
- (5) 应提供1460~1675nm波长范围内按照1pm分辨率测试的双向典型衰减光谱特性曲线图,同时提供1523~1627nm波段按照1pm分辨率测试的双向典型衰减光谱特性曲线图。
- (6) 应提供该批样品0小时、半小时、1小时、2小时、4小时、6小时、1天、2天、5天单端暴漏时进水深度;提供温度25度、湿度90%条件下,0小时、半小时、1小时、2小时、4小时、6小时、1天、2天、5天时熔接点断裂时1523~1627nm波段损耗变化整体(1pm分辨率)情况与处理方案;提供成缆附加损耗数值。
- (7) 应提供1550nm和1625nm波长上的光纤衰减的直方图及样本数。

4.2.5 光纤模间干扰系数

成缆后单盘IMI数值 $\leq -60\text{dB/km}$ 。

4.2.6 光纤在1550nm、1625nm波长上的弯曲衰减特性

以30mm的弯曲半径松绕100圈后,衰减增加值应1550nm波长下不大于0.2dB。

4.2.7 光纤色散特性

- 1 光纤在1550nm波长处的色散系数不大于 $0-5\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$, 不含5;
- 2 1550nm波长色散点斜率不大于 $0.03\text{ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$ 。

4.2.8 偏振模色散PMDQ

光纤成缆后在1550nm波长处的偏振模色散系数应满足: $\leq 0.2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ (单盘值)。

4.2.9 光纤接头损耗

- 1 所供光缆中的任意两根同类型HCF在工厂条件下1550nm波长的熔接损耗应满足以下规定: 光纤接头损耗双向平均的最大值 $\leq 0.2\text{dB}$, 大于0.1dB 的比例应小于 20%; 平均值 $\leq 0.10\text{dB}$;
- 2 所供光缆中的任意两根同类型空芯光纤在施工现场1550nm波长的熔接损耗应满足以下规定: 光纤接头损耗双向平均的最大值 $\leq 0.3\text{dB}$, 大于0.1dB的比例应小于20%; 平均值 $\leq 0.10\text{dB}$,
- 3 所供光缆中的任意1根HCF与任意G.652.D单模光纤使用配套接续件,在工厂条件和施工现场下1550nm波长的熔接损耗应满足以下规定: 连接衰减 $\leq 0.6\text{dB/对}$, 回波损耗 $\leq -50\text{dB}$ 。

4.2.10 熔接点损耗测试应符合下列要求:

- 1 应采用双向OTDR测试,取双向平均损耗。
- 2 HCF-HCF熔接点双向平均损耗不应大于0.1dB。
- 3 HCF-SMF异质接头损耗不应大于0.2dB (典型值)。

4.2.11 模间干扰（IMI）测试（若条件具备）应符合下列要求：

- 1 测试方法：高分辨率光谱法或相干检测法。
- 2 验收指标： $\text{IMI} \leq -60\text{dB/km}$ ，无周期性模干扰纹波（幅度 $<0.1\text{dB}$ ）。

4.2.12 光纤内部气压特性

光纤内部气压特性：空芯光纤全链路应满足全纤气压 $\geq 1\text{atm}$

4.3 配套器具选型

4.3.1 配套器件应符合下列要求：

- 1 空芯光纤与常规单模光纤连接时，应采用专用SMF-HCF模场适配器。
- 2 应使用专用低损耗空芯转单模尾纤和法兰。
- 3 熔接机应选用适配空芯光纤的专用机型，并配备专属熔接模式。
- 4 切割刀应选用大芯径光纤专用切割刀，采用拉断法切割，切割角度不应大于 0.5° 。
- 5 OTDR应支持折射率调整至1.0000，动态范围不应小于45dB。
- 6 应配备400倍端检仪，用于检测光纤端面进水、破损、杂质。

5 设计

5.1 路由规划设计

5.1.1 路由规划设计应遵循“最短物理路由”原则，结合地理地形和现有基础设施，规划最短传输路由，减少传输距离，降低时延。

5.1.2 路由应优先选择高速公路硅芯管、高速铁路、地铁隧道、城市综合管廊以及满足条件的油气管道等优质路由。

5.1.3 路由应严格规避高湿、积水、淤泥、强电磁干扰、高盐雾、沙尘等隐患区域，避开大型施工工地、交通繁忙路段等易受外力损伤的区域。无法规避时，应设计专项防护方案。

5.1.4 路由规划中应尽量采用直线，减少直角、锐角弯折。弯折处的曲率半径不应小于光缆外径的20倍，并应配备弧形导轮等防护措施。

5.1.5 锐角转弯井数量应严格控制，并应为后期敷设倒缆、缓解拉力预留条件。锐角井应单独设计2m小盘留和倒缆空间。

5.1.6 针对江河、山脉等地理障碍，应规划非开挖工艺（定向钻、顶管）的穿越点，明确穿越深度、长度等参数。

5.1.7 人手井、光交箱的位置应合理设置，便于光缆敷设、熔接和后期运维。锐角转弯井及每隔200m~300m直线井应具备充足的倒缆空间，靠近中间架盘点处的倒缆位置应能容纳约1000m~2000m光缆的8字盘绕堆放。

5.1.8 接头熔接点应具备搭建临时帐篷或停放大型SUV车的条件，南方潮湿区域应确保可搭建低湿熔接作业区。

5.1.9 对于金融、AI、算力互联等核心业务链路，应设计主用（空芯光纤）和备用（传统实芯光纤）双路由，双路由应物理隔离。故障切换时延不应大于50ms。

5.2 光缆配盘设计

5.2.1 应优先选用长段长空芯光纤光缆，结合路由长度精准配盘，最大限度减少熔接点数量。

5.2.2 配盘时应每段光缆预留0.5%~1%的施工长度；机房、光交箱内光缆盘留长度不应小于5m，人手井内不应小于2m。

5.2.3 同一链路的空芯光纤光缆应选用同一厂家、同一批次产品，光纤MFD偏差不应大于 $1\mu\text{m}$ 。空芯光纤互熔应收敛纤芯直径差，同时避免异结构互熔，否则会引入额外熔接损耗。

5.2.4 空芯光纤与传统实芯光纤可按一定比例混合成缆（核心链路可提高空芯光纤占比）。

5.3 光缆敷设设计

5.3.1 管道敷设设计

1 空芯光缆应单独占用管孔，严禁与其他光缆同管敷设。管孔孔径不应小于40mm，内壁光滑。

2 管道弯折处最小弯曲半径不应小于光缆外径的20倍，直角弯折处应加装弧形导轮。锐角井应预留2m小盘留和倒缆空间。

3 人手井间距宜控制在200m~300m。井内应设置光缆支架，光缆盘圈半径不应小于光缆外径的20倍。积水井内应设计光缆抬高支架。

5.3.2 直埋敷设设计

1 普通地段埋深不应小于0.7m，农田地段不应小于1.2m，道路下方不应小于1m。

2 光缆上方应铺设红砖+细砂双层防护：细砂层厚度不应小于10cm，红砖层采用“工”字型铺设。穿越公路、铁路时应穿镀锌钢管做硬防护，钢管两端做密封处理。

3 直埋路由应避开低洼积水、淤泥、盐碱地等区域。无法规避时，应采用石砌沟道+防水光缆方案。

5.3.3 架空敷设设计

1 应勘测架空线路是否符合通信杆塔的施工要求，吊点间距不应大于50m，最大跨距不应大于100m。多风、覆冰区域应适当缩小吊点间距（不应大于40m）。

2 架空线路高低落差仰角 $\leq 15^\circ$ ；

3 架空时每个塔杆均需要加挂定滑轮，且单次施工距离不得超过300m；

4 光缆在电杆处的盘留半径不应小于光缆外径的20倍，架空余缆架直径应 $\geq 80\text{cm}$ ；

5 采用密封型较好的帽式接头盒，熔纤盘直径 $\geq 10\text{cm}$ ，接头盒需做好防水处理；

6 每500米预留30米的盘留标准，便于后续运维，做好管道转架空处的光缆保护；

7 跨越道路、河道的架空光缆应增加防砸、防剐蹭防护套。鸟害高发区域应加装防鸟啄护套。

8 采用ADSS型式时应采用悬垂线夹悬挂光缆，线夹与光缆接触处应加装缓冲护套。

9 光缆过弯时应保证一定的弯曲角度，管道-架空过渡路由应平滑过渡。

5.3.4 硅芯管道气吹敷设计

1 在硅芯塑料管管道中穿放光缆，宜采用气吹法为主、牵引法为辅的施工方法。硅芯塑料管管材内径应不小于光缆外径的1.5倍。

2 气吹设备选型应符合下列规定：

- a) 压缩机出气口气压宜保持在0.6MPa~1.5MPa；
- b) 压缩机出气口气流量应大于10m³/min；
- c) 气吹机液压驱动推进（或气流驱动推进）装置的推进力应满足施工设计要求。

3 引接光缆设计应符合下列规定：

- a) 引接光缆应采用管道方式，新建沟通管道不应破坏高速公路路基、路堑边坡等基础设施；
- b) 引接光缆从混凝土边坡引入时，应采用混凝土包封保护措施；
- c) 引接光缆从桥墩引入时，应采用镀锌钢管保护措施，镀锌钢管内径不应小于50mm；
- d) 引接光缆的其余设计要求应符合GB 51158的规定。

4 光缆接头盒不宜设置于高速公路桥梁上和隧道内。

5.3.5 高铁槽道敷设计

1 高铁槽道光缆敷设安装设计应符合TB 10006《铁路通信设计规范》、Q/CR 9520《高速铁路通信工程细部设计和工艺质量标准》等铁路行业相关技术规范的规定。

2 光缆沿铁路敷设，应优先敷设在电缆槽道内。与信号电缆同槽敷设时，光缆与信号电缆应分置槽道两侧。

3 光缆在路基地段敷设时，光电缆接头位置宜选择在地势平坦、地基稳固、便于维修的地点；在通过坡度不小于20°且坡长不小于30m的斜坡时，宜采用“∞”形敷设；过轨点及引出电缆槽处宜设置电缆井。

4 光缆在桥梁地段敷设且无预留电缆槽道时，应根据情况采用钢槽、复合材料槽或钢管敷设，光缆接头位置不宜选择在桥上。

5 光缆在隧道地段敷设无电缆槽道可用时，可吊挂在隧道壁上。

6 光缆在高铁槽道中预留应符合下列规定：

- a) 每隔500m左右宜预留一处，每处预留光缆12m；
- b) 光缆接头盒附近应预留成“S”形，重叠长度宜为8m~12m；光缆接续后，在接头盒两侧宜各预留5m~10m；

c) 光缆通过隧道进出口、桥梁两端时宜各预留5m。

7 光缆引出应尽量利用铁路通信槽道；无法利用槽道时处采用 $\phi 50$ 钢管内套硅芯子管防护（有挖沟条件时埋设）；上下护坡及过水沟时，采用 $\phi 50$ 钢管明敷外加混凝土包封防护，不得破坏铁路既有设施。

8 槽道内在桥梁伸缩缝、拐弯处、穿越防护管两端等位置时，应布放钢槽穿套与电缆线径相适应的防护管保护，长度应从保护点向两端各伸出100 mm~300 mm。

9. 光缆在桥梁上敷设时，应按设计要求的方式进行防护，防护措施如下：

a) 光缆在桥梁伸缩缝等位置时，应穿套与光缆线径相适应的高压夹布橡胶管保护，长度应从保护点向两端各伸出100 mm~300 mm；

b) 外露光缆应采用套管防护；光缆引入处槽盖板应封堵；

c) 从桥梁上引下光缆应安装不小于2mm 厚热镀锌钢槽防护；桥梁与桥墩钢槽的连接处间隙为5mm~10mm；两梁间过渡钢槽连接处活动搭接长度不小于50mm；钢槽弯曲半径应符合光缆弯曲半径的要求；钢槽及光缆应分段固定，固定间距不应大于1500mm；钢槽下端应埋设在地面以下并固定，深度不应小于500mm；地面以上的钢槽外部应采用砌砖防护，高度不应小于2500mm。

10 光缆过轨应在附近桥下、涵下过轨或利用铁路预留的剩余过轨钢管进行，过轨光电缆防护方式必须与铁路过轨防护方式相同，并不得影响周围景观。

11 通信光缆引出桥梁、路基段落时，采用布放钢槽穿放钢管防护引上护坡，通过路堑边坡排水沟后使用铺钢管直埋敷设至手孔井，防护要求与铁路工程通信防护标准相同。

5.4 熔接与测试体系设计

5.4.1 熔接环境标准

1 熔接环境温度应为15℃~30℃，相对湿度不应大于55%RH，无粉尘、无振动、无强风。

2 户外熔接应设计专用密封帐篷+除湿机，或利用SUV车内空间搭建临时低湿作业区。

3 熔接区域应铺设防静电垫，施工人员应穿戴防静电手套。

5.4.2 熔接流程设计

1 标准化熔接流程为：光缆剥纤→空芯纤芯涂胶密封→光纤切割→熔接参数调试→熔接→熔接损耗检测→热缩管保护→二次密封。

2 应先熔接空芯光纤，后熔接传统实芯光纤。

5.4.3 熔接参数设计

根据光纤材质、芯径及包层结构，调取对应熔接参数库，选择专属熔接参数（熔接电流、对接及熔接放电时间，空芯光纤间隙等），避免熔接参数过大导致的微结构塌陷和进水进气风险。

5.4.4 浸水熔接专项要求

熔接前应通过端检仪确认端面无进水、无水雾、无变色，严禁进水段进入链路。

5.5 防护与预防设计

5.5.1 全链路密封防护

- 1 空芯光缆端头应采用高密封封帽+胶水双重密封。
- 2 敷设过程中每出一次人手井应检查封帽完整性，破损应立即更换。
- 3 接头盒应选用IP68等级的帽式光缆接头盒。
- 4 熔接后热缩管应做好二次密封，确保无气泡、无缝隙。
- 5 机房、光交箱内的光缆端头应做好密封处理。

5.5.2 防弯折防护

- 1 所有光缆盘圈处的最小半径不应小于光缆外径的20倍，盘圈后应用扎带固定在专用支架上。
- 2 光缆敷设的弯折处应加装弧形导轮或护纤槽。

5.5.3 外力损伤防护

- 1 穿越道路、河道、施工区域的光缆，应穿镀锌钢管做硬防护，钢管两端用密封胶封堵。
- 2 特殊施工区域的光缆，应设计“地面警示标识+地下防护套管”双重防护，警示标识间距不应大于50m。
- 3 架空光缆在电杆处应加装防撞护套。

5.5.4 环境防护

- 1 高湿、盐雾、沙尘区域的光缆，应选用防腐蚀、抗老化的护套材料，接头盒应加装防雨、防沙尘防护罩。
- 2 积水井内的光缆接头盒应贴井壁上安装或设置抬高支架，完全避开积水区域。
- 3 户外熔接区域应做好防雨、防潮、防尘防护。

5.5.5 预留防护

- 1 熔接点两端光缆预留长度不应小于20m。
- 2 核心链路应预留1~2根备用空芯光纤。
- 3 密封胶、热缩管等防护材料应按N+1配置。

6 施工

6.1 施工前准备

6.1.1 光缆运输

- 1 光缆运输应采用专用光缆运输车，车厢内设置缓冲垫，防冲击振动。

2 光缆装卸应采用吊车+专用吊具，严禁直接拖拽、翻滚，仅可沿盘体箭头方向短距轻转，不可长途滚动，以防内部光纤松动或微结构错位。

3 光缆应直立放置于专用光缆盘上，严禁平放或堆压，防止空心结构变形或微结构塌陷。

4 运输吊装须用软吊带，严禁用钢丝绳直接捆扎。

5 运输环境温度应为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ ，应防潮防雨，严禁日光暴晒或冷凝结露。

6.1.2 光缆存放

1 光缆应存放于干燥、通风、避光的仓库，仓库温度 $0^{\circ}\text{C}\sim30^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不应大于55%RH。

2 光缆盘应采用立式存放（“H”型摆放），盘身固定。

3 光缆端头密封朝上，不应受压。

4 光缆存放时间不宜超过3个月。超过期限应重新检测光缆性能。

6.1.3 到货检查

1 应核对到货光缆数量、规格参数，检查外包装及缆盘完整性。

2 应优先核验端头封帽状态。若有脱落、开裂或进水迹象，严禁入库及施工，应立即联系厂家处理。

3 外观异常的空芯光缆，敷设前必须强制开盘进行全段OTDR检测。

6.1.4 路由复勘

1 应组织施工、设计、监理人员对光缆路由进行现场复勘，逐段核对路由走向、管孔状况、人手井位置、架空电杆、直埋埋深等参数。

2 应重点核查锐角井数量、倒缆空间、熔接作业空间、SUV/帐篷搭建区域。

3 应逐段排查管道路由的淤泥、积水、管孔堵塞、弯折等问题。

4 高湿区域应提前规划熔接低湿作业区。

5 严禁擅自调整设计方案。

6.1.5 设备与材料准备

1 施工设备应包括：拉缆机（经拉力校准）、牵引网套（带旋转头）、导轮、光缆剥线钳、专用切割刀、滚轮手推式测距仪等。

2 熔接测试设备应配备：专用熔接机、400倍端检仪、可调整折射率OTDR（动态范围 $\geq 45\text{dB}$ ）、PMD/色散测试仪、时延测试仪、光功率计、除湿机、密封帐篷、SUV车等。

3 防护材料应配备：高密封封帽、紫外固化胶、光缆密封胶、有机硅密封胶、热缩管、SMF-HCF专用适配器、镀锌钢管、弧形导轮、缓冲护套、防鸟啄护套、警示标识牌、电工胶布等。

6.1.6 技术交底与专项培训

1 应组织设计单位向施工、监理人员进行技术交底，明确设计方案、施工要求、核心性能指标、防护要点、验收标准。

2 应重点讲解空芯光缆三级防水、中点双向敷设、低湿熔接、浸水截除、衰减恢复等专属工艺。

3 应对施工人员进行空芯光纤特性、施工规范的专项培训，并开展实操演练。实操考核合格后方可参与施工。

4 应制定施工安全规范并进行安全培训。

6.2 光缆敷设

6.2.1 通用敷设要求

1 应力释放

a) 敷设前，必须将整段光缆从缆盘全部拉出，在平整、无尖锐物的地面盘“8字”。

b) “8字”长4m~5m，宽1m~2m。光缆交叉部分应稍错开，避免局部受压过大。

c) 应采用连环8字，避免堆放过高。

d) 应力释放时间不应小于30分钟。

2 牵引方式

a) 严禁采用拖拽加强芯的方式。

b) 必须采用带旋转头的牵引网套，网套规格应与光缆直径匹配。

c) 上网套时应将光缆端头穿至网套根部，网套尾端绑扎铁丝（绑扎长度12mm~15mm），网套头部和尾端缠绕电工胶布（3~5道）。

3 牵引参数控制

a) 应采用拉缆机匀速牵引，牵引速度控制在5m/min~10m/min。

b) 牵引拉力不应超过光缆额定抗拉强度的80%。

c) 牵引速度骤降或拉力超标时，应立即停机排查，严禁强行牵拉。

4 防挤压防护

a) 敷设过程中应安排专人全程跟随，观察光缆接触状态。

b) 对单边强力接触点、挤压点应立即采取穿子管、加装弧形导轮等措施。

c) 光缆与硬物接触处应加装缓冲护套。

d) 锐角井处应安排专人辅助，做好2m小盘留。

5 密封检查

光缆每出一次人手井，应检查端头封帽完整性。封帽轻微破损应立即用专用胶水点胶密封；严重破损应更换封帽。

6 禁止行为

a) 敷设过程中严禁拖拽、翻滚、弯折光缆。

b) 严禁用硬物敲击、挤压光缆。

- c) 严禁用手直接触摸光纤端面。
- d) 严禁光缆扭转、死弯、地面拖拽、人员踩踏、车辆碾压。
- e) 严禁单段光缆中途长时间悬空搁置，防止缆体自重产生不可逆弯折损伤。
- f) 严禁在高温暴晒、暴雨、低温霜冻等恶劣天气下露天敷设。

6.2.2 管道敷设操作

- 1 敷设前应用穿管器逐段试通管孔，并用高压气流清理管内淤泥、积水、障碍物。
- 2 管孔内应穿放子管（孔径不应小于32mm），子管两端固定在人手井支架上。
- 3 长距离管道路由应采用“分段牵引+人工辅助”，每200m~300m设置一个牵引点，可采用多台牵引机接力敷设。
- 4 光缆进出人手井处应采用导轮保护。
- 5 光缆敷设至人手井后，应在井内盘圈，盘圈半径不应小于光缆外径的20倍，并用扎带固定在井内支架上。

6.2.3 架空敷设操作

- 1 敷设前应检查电杆强度、吊点支架、悬垂线夹。
- 2 敷设时在电杆处加装弧形导轮。
- 3 光缆牵引至电杆处时，应安排专人用手托举光缆辅助穿放。
- 4 光缆悬挂后应调整垂度，多风区域适当减小垂度。
- 5 光缆在电杆处的盘留长度不应小于2m，盘圈半径不应小于光缆外径的20倍。
- 6 敷设完成后应检查光缆悬挂状态。

6.2.4 直埋敷设操作

- 1 直埋沟底应平整、无尖锐物，开挖后铺设10cm厚细砂。
- 2 光缆敷设在细砂层上，敷设过程中安排专人托举。
- 3 光缆敷设完成后，上方再铺设10cm厚细砂，然后采用“工”字型铺设红砖层。
- 4 直埋光缆接头应安排在人手井或光交箱内，严禁在直埋沟内设置接头。
- 5 穿越公路、铁路时应穿镀锌钢管做硬防护，钢管两端伸出道路/铁路边缘不应小于2m，并用密封胶封堵，上方设置警示标识。
- 6 光缆过弯时应保证一定的弯曲角度，直埋陡坡路段应平滑过渡。

6.2.5 硅芯管道气吹敷设操作

- 1 硅芯管道放缆前应进行内部清洁，减少摩擦阻力。
- 2 气吹施工前应对硅芯管管道的气闭性能进行检查。检查时，应将硅芯管两端密封，管内充气至0.1MPa，24h后压力降低不应大于0.01MPa。高速连续弯道、坡道路段应每2个手孔进行分段气密测试。

3 管道接头处毛刺、错口、扁管应全部整改合格。连续2个90°弯及以上区段严禁直接气吹，应增设中间吹缆点，避免侧压挤压光缆造成空芯光纤微弯损耗。

4 光缆吹放速度宜控制在60m/min~90m/min，不宜超过100m/min。放缆速度与吹缆速度应保持一致，且应保持匀速。

5 管道径路爬坡度较大时，宜采用活塞气吹头敷设方法；管道径路比较平坦但个别地段弯曲度较大时，宜采用无活塞气吹头敷设方法。

6 整盘光缆吹放时，可由中间向两端双向吹放，也可向同一方向吹放。当采用由中间向两侧吹放时，应先吹放一个方向，然后采用倒盘器将盘上剩余光缆倒成“8”字后再吹放另一方向。光缆在吹放及“8”字预留盘放时，弯曲半径不应小于光缆外径的20倍。

6.2.6 高铁槽道敷设操作

1 光缆沿铁路敷设时，宜采用抬放方式，保证对既有光缆设施不造成损伤，严禁与槽道内既有缆线交叉、缠绕。

2 敷设前应清理通信电缆槽内障碍物。所有转角、托臂、支架棱角应包裹橡胶护角，尖锐点应进行防护，避免划伤护套或挤压松套管造成空芯光纤微弯损耗超标。

3 光缆应按A、B端敷设，敷设后应顺直自然、互不交叉，接续可靠，标识明确，余留应满足维护需要。

4 在光电缆接头盒、电缆井、隧道进出口、桥梁等特殊地段，光缆应悬挂固定热塑封标牌。

5 槽道内光缆接头盒采用减震支架，使用不锈钢膨胀螺栓固定牢固，增强光缆接头盒稳定性。

6 光电缆敷设匀速牵引时，布放光缆的牵引力应不超过光缆允许张力的80%。瞬间最大牵引力不得超过光缆允许张力。

7 转角、上下桥隧引上位置必须安装大半径橡胶牵引滑轮，滑轮槽内径不应小于光缆外径的25倍，严禁使用小型金属滑轮硬磨缆身。

8 光缆的外护套应避免与锐利物接触，避免与粗糙物摩擦。在光缆接头处各个方向光缆的金属护套或铠装和金属加强芯不作电气连通，也不接地。

9 在槽道间落差处敷设光缆时，应采取防护措施，避免光缆悬空或受力。

10 光缆经过过线井时，光缆要用尼龙指扎带绑扎在过线井铁环上，光缆应有醒目的标志（挂3个光缆标志牌）。有接头的过线井，要将光缆接头盒用固定在积水最高水位线以上且安全便于维护抢修的位置，接头盒用防震装置固定。

11 对已敷设光缆的槽道进行修复时，应确保既有光缆的安全。并应与铁路相关部门协商。

12 敷设完毕应及时恢复槽道盖板，槽道盖板应齐全，完整，稳固。

13. 施工完毕必须立即清理多余的材料，不得影响铁路运营；将孔洞用不燃或阻燃材料安全可靠封堵，必须保证高速环境风压条件下不得滑落。

6.2.7 剪缆加封帽

剪缆后应立即对两端进行封帽保护，操作流程为：剪缆→涂胶→加铁封帽→加热缩封帽→绑电工胶布。

6.3 熔接施工

6.3.1 熔接环境控制

- 1 户外熔接应搭建专用密封帐篷，配备除湿机、空调，帐篷内，环境温度和湿度符合要求。
- 2 湿度大时可采用双帐篷（大帐套小帐）模式。
- 3 室内熔接应关闭空调（避免气流扰动）。
- 4 熔接区域应铺设防静电垫，施工人员应穿戴防静电手套。

6.3.2 熔接操作步骤

1 开剥：熔接点剥缆长度4m，进帐篷或工程车后剪掉2m。开剥后的空芯光纤应立即用有机硅密封胶点胶防水处理。

2 光纤处理：用专用剥线钳剥除涂覆层（露纤30mm~40mm），用酒精棉单向擦拭。用专用切割刀切割，切割角度不应大于 0.5° ，切割后不得用纸或布擦拭端面。

3 熔接机设置：选择空芯光纤专属熔接程序，调整放电时间、放电强度等参数。

4 熔接：将光纤放入V型槽，确保端面与电极棒中心对齐，启动熔接。

5 损耗检查：熔接机显示损耗仅供参考，应以OTDR实测为准，单点熔接双向平均损耗不应大于0.1dB。显示损耗大时肯定有问题，显示小时不一定准确。

6 热缩保护：将热缩套管（40mm或60mm）套在熔接点上，确保熔接点位于中央，放入加热槽加热，冷却后自然冷却。热缩管冷却后，在两端与光缆结合处涂抹密封胶进行二次密封。

7 盘纤固定：将余长光纤盘绕在接头盒中，防水防尘等级应达到IP68以上；弯曲半径不应小于50mm（或30mm，视规范要求），用固定夹或胶带固定。

8 成端：空芯光纤成端需要专门的SMF-HCF配套接续件适配。

6.3.3 进水判断与处理

- 1 在熔接机对准界面观察：进水光纤图像条纹不清晰，未进水光纤图像条纹清晰。
- 2 若进水，应从开剥步骤重新开始，并向后截断光缆直至无水残留。

6.3.4 影响熔接质量的因素

1 应关注温湿度、震动、灰尘与污染物、熔接参数设定、端面制备质量、切割刀状态（每个刀位切割次数不宜超过500次，应及时换刀位）等因素。

6.4 接头盒安装

6.4.1 接头盒安装与密封

- 1 接头盒应选用IP68等级产品，核心链路优先选用金属外壳。
- 2 接头盒应优先设置在地面操作井、干燥通风的机房/光交箱内。地下井安装时应贴井壁上部或设置抬高支架（高度不应小于30cm），完全避开积水。高寒地区的接头盒外侧包裹保温棉（厚度≥10mm，导热系数≤0.03W/(m·K)），并加装硬质保护外壳，防止低温冻裂箱体及光纤。
- 3 架空路段接头盒应加装防雨、防紫外防护罩。
- 4 安装前应将光缆上的电工胶布斜坡末端打磨平整、除尘，在结合处粘贴银色隔热纸并刮除气泡。
- 5 在密封槽内涂抹密封胶后合盖拧紧螺丝。
- 6 安装密封完成后，应用肥皂水涂抹密封处和螺丝处检查气泡。

6.4.2 光缆盘留与固定

- 1 熔接点两端光缆预留长度不应小于20m。
- 2 盘圈半径不应小于光缆外径的20倍，用扎带均匀固定在专用支架上。
- 3 机房/光交箱内空芯光纤光缆应单独盘留，与传统实芯光纤分开布置。
- 4 非作业状态下，严禁拆除空芯光缆端头封帽。

6.5 入局成端

- 6.5.1 将室外光缆引入机房走线架，固定缆体，剥离铠装层并接地。
- 6.5.2 空芯纤芯应与专用尾纤（空芯转单模）熔接，安装至ODF架适配器端口。
- 6.5.3 必须使用专用适配器和专用尾纤，端面清洁应增加擦拭次数，确保回波损耗不小于50dB。
- 6.5.4 空芯纤芯与常规单模纤芯应分区成端、分区编号，单独建立台账。

7 验收测试

7.1 测试环境与条件

- 7.1.1 测试环境温度应为25℃±5℃，相对湿度不应大于55%RH。
- 7.1.2 测试前应对测试设备进行预热、校准，对测试跳线端面进行清洁。

7.2 测试指标与限值

- 7.2.1 空芯光纤链路验收测试应包含表7.2-1所列项目，并应符合相应指标要求。

表7.2-1 空芯光纤链路验收测试指标

测试项目	验收指标	测试方法/设备
衰减系数	≤0.15dB/km@1550nm（或满足设计要求）	高动态范围 OTDR（折射率=1.000）
链路总衰减	满足设计要求	光源+光功率计

测试项目	验收指标	测试方法/设备
熔接点损耗	$\leq 0.1\text{dB/点}$ (HCF-HCF 双向平均)	双向 OTDR 平均法
传输时延	$3.3\text{ }\mu\text{s/km} \sim 3.46\text{ }\mu\text{s/km}$	时延测试仪
色度色散 (CD)	$0 \sim +5\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}) @ 1550\text{nm}$, 斜率 ≤ 0.03	CD 分析仪 (相移法)
偏振模色散 (PMD)	$\leq 0.2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$	PMD 分析仪
模间干扰 (IMI)	$\leq -60\text{dB/km}$ (若条件具备)	高分辨率光谱法/相干检测法
吸收峰检测	C/L 波段无明显 CO_2 吸收峰	光谱仪
弯曲附加损耗	30mm 半径松绕 100 圈, $\Delta \alpha \leq 0.2\text{dB}$	—
外观与密封	端头、接头盒无进水、无破损, 密封完好	目测、端检仪

7.3 测试流程

7.3.1 单段光缆敷设完成后, 应在熔接前进行单段性能测试 (衰减系数、时延等), 合格后方可熔接。

7.3.2 每完成一个熔接点, 应立即进行双向OTDR熔接损耗测试并记录。

7.3.3 全段熔接完成后, 应进行端到端全指标测试: OTDR双向扫描、插入损耗测试、CD测试、PMD测试、时延测试。浸水修复段应单独进行衰减恢复测试。

7.3.4 链路损耗超标时, 应按“跳线法兰清洁度→熔接点损耗→机房设备口→光缆本体”的顺序逐一排查。

7.4 测试数据存留

7.4.1 应留存下列测试数据:

- 1 OTDR曲线。
- 2 熔接损耗测试报告。
- 3 时延测试报告。
- 4 色散测试报告。
- 5 PMD测试报告。
- 6 浸水衰减恢复测试报告 (出现浸水时)。
- 7 熔接耗时统计。
- 8 截除长度记录。

7.4.2 测试数据应按标段、熔接点编号分类整理, 实现全链路可追溯。

7.5 竣工资料与三方验收

7.5.1 竣工资料应包含：到货台账、厂验报告、熔接记录、成端测试数据、隐蔽工程照片、竣工图纸。

7.5.2 应组织施工、监理、建设单位三方验收，核查路由走向、接头盒密封、预留段布设、接地装置及标识，核验测试数据。

7.5.3 应单独编制空芯光纤专项测试台账，详细记录每芯熔接点位置、损耗数值、成端端口编号。

7.5.4 验收交底阶段，应向运维单位专项说明空芯光缆施工禁忌、日常检修规范、接续专用设备型号及使用要求。

8 运行维护

8.1 日常巡检与监测

8.1.1 应建立空芯光纤专属性能基准数据库，实时监测链路损耗、时延、色散、IMI等指标，重点关注浸水、进气引发的衰减突变及CO₂吸收峰。

8.1.2 巡检频次应符合下列要求：

- 1 核心链路：不应小于每月1次。
- 2 普通链路：不应小于每季度1次。
- 3 高风险区域（施工区域、河道、道路）：不应小于每半个月1次。

8.1.3 巡检内容应包括：光缆护套完整性、密封状态（封帽、热缩管、接头盒）、盘圈固定、防护措施、接头盒积水情况等。

8.1.4 应制定巡检记录表，实现巡检数据电子化留存。

8.1.5 光缆断裂后应第一时间锁定密封断点并排查浸水情况，对断点进行密封处理，防止“一端密封、一端浸水”的快速渗水。

8.2 故障定位

8.2.1 应使用可调整折射率的OTDR（折射率调整至1.0000）进行故障测距，结合光缆内“监控纤”辅助定点。

8.2.2 通过OTDR定位断裂大体位置后，采用人工巡查方式确定具体断裂位置。

8.3 进水长度判断与处理

8.3.1 进水长度可通过厂验或厂商提供的“进水深度-时间”关系曲线进行估算。

8.3.2 进水处理操作应符合下列要求：

1 在估算位置截断光缆，用熔接机观察光纤端面。若观察到进水形貌（图像条纹不清晰），继续向后截断直至确认无水残留。

2 在水浸入最深位置额外截除2m。

- 3 一盘光缆仅一端进水时，接头井两端各送盘留，进水盘送缆至少80m。
- 4 一盘光缆两端都进水时，用盘长 $N+250m \times 2$ 的新缆直接替换（N为原光缆盘长）。
- 5 无快速检测工具时采用“1.8m开剥+5m截除”循环寻找衰减恢复点。

8.4 熔接修复

8.4.1 故障修复的熔接环境、操作流程、验收标准应与建设阶段相同（湿度不应大于55%RH，专用设备，损耗达标）。

8.4.2 熔接完成后应进行盘纤、接头盒封装，并用OTDR对修复点损耗进行复测。

8.5 备件与人员管理

8.5.1 应提前储备专用抢修设备和备件，包括：熔接机（N+1套）、端检仪、OTDR、除湿机、密封帐篷、空芯光缆、接头盒、适配器、网套、密封胶、热缩管等。

8.5.2 运维人员应具备空芯光纤熔接、测试、故障处理、密封防护、浸水抢修专业技能，经专项培训考核合格后方可上岗。核心链路应配备专职运维人员。应定期组织专项实操培训。

条文说明

4 光缆与配套器具选型

4.1 光缆结构选型

4.1.1 基本原则

针对空芯光纤成缆，松套层绞、中心束管、紧套三种缆型做了全性能对比：

1 机械性能（拉伸/压扁/弯曲）

松套层绞：长期拉力 1000N、短期 3000N；压扁 1000/3000N；弯曲 10D/20D 表现最优；

中心束管：抗拉尚可，但压扁、弯曲时局部应力集中，空芯光纤微弯损耗敏感，衰减波动大；

紧套：余长控制差、抗侧压弱，空芯光纤易出现不可逆微弯损伤。

2 温度循环（-40℃~+70℃，30 次）

松套层绞：空芯光纤附加衰减 ≤0.05dB/km，无套管回缩、无断纤；

其他结构：束管在高低温下伸缩不一致，空芯光纤衰减漂移 >0.2dB/km，稳定性差。

3 长期老化及浸水（1m/30d）

松套层绞：阻水结构成熟，纵向防水、抗水解能力强，空芯光纤长期衰减小；

紧套/简易束管：渗水风险高，油膏流失后空芯光纤直接受潮，性能劣化明显。

光缆纤芯数验证：一个松套管可放置纤芯数量

1) 空芯光纤成缆设计参数

空芯光纤外径：385 μm（标准涂覆）

松套管内径：常用 2.4mm / 2.6mm / 2.8mm

2) 单管纤芯容量

内径 2.8mm：最多4芯，弯曲应力分布最均匀，微弯损耗最小。

采用直径大的松套管有缺点：光缆变粗、变硬、成本上升、施工困难。

3) 验证依据

单管光纤采用2芯，保证：光纤有足够活动空间，成缆 / 弯曲时不挤压、不微弯；油膏充分填充，防水、缓冲到位；空芯光纤对微弯极敏感，填充率过高会导致衰减急剧上升。

工程常用：每管 2~4 芯，根据总芯数选取套管规格；

不建议单管超过 4 芯：填充率过高，空芯光纤微弯风险显著上升，运维故障概率增大。

光缆内纤芯放置：是否配置单模光纤及原因

空芯光缆内应同时放置空芯光纤 + 少量常规单模光纤（G.652D/G.654E），不宜全空芯。

1) 工艺兼容与风险冗余：同缆内保留部分常规单模光纤，便于在研发 / 工程阶段对比测试、校准工艺，降低全新型光纤批量成缆的风险；

2) 空芯光纤采用独立套管：独立套管+柔性绞合，保护脆弱空芯、最小化弯曲/挤压损耗；

3) 保护高价值纤芯：少量单模光纤可作为“监控纤”，在运维时快速判断故障点。

4.1.5 结合空芯光纤熔接效率低、对水汽敏感的特点，商用初期单根空芯光缆芯数不宜超过24芯，减少熔接耗时和密封风险。

4.2 厂验

4.2.4 衰减测试相关要点如下：

1 HCF两端加大于当前测试所用脉宽长度的同种型号的SMF光纤作为导引光纤，建议500m至1km长（根据被测HCF长度决定）；

2 测试前需使用清洁工具，对仪表、导引光纤等所有可清洁连接部分进行彻底清洁，降低反射，如条件允许，建议进行端面查看；

3 尽量使用能够满足测试需求的小脉宽、高分辨率做测试，测试时间60s以上，保证测试精度；

4 需要进行A端测试和B端测试，测试过程中只移动OTDR仪表，导引光纤和被测都不要移动；A端和B端测试参数保持一致；

5 A端和B端的测试曲线清晰、准确，使用HCF拟合软件得到真实的衰减曲线和熔接等事件。

6 附加气体吸收损耗在光谱仪1pm分辨率下进行测试，测试方法如下：采用光谱仪测得1523-1626nm波长范围内的衰减系数谱，选取由气体吸收造成的衰减系数最大的吸收峰，记录其峰值衰减系数 a 、中心波长 λ_a ，在其左右两侧选取距离最近的两个吸收峰，记录其中心波长 λ_L 和 λ_R ，算出最大吸收峰左右两个谷底取样波长 $\lambda_b = (\lambda_a + \lambda_L) / 2$ 和 $\lambda_c = (\lambda_a + \lambda_R) / 2$ ，测得 λ_b 和 λ_c 处衰减系数 b 和 c ，最大附加气体吸收损耗 $= a - (b + c) / 2$ 。

5 设计

5.1 路由规划设计

5.1.7 为避免扭转应力，全程采用“8”字形盘绕，确保牵引无自旋，防止加强件与纤芯产生相对位移导致护套磨损或纤芯微弯。

5.3 光缆敷设设计

5.3.1 管道敷设设计

一次牵引长度原则上不超过 1 000 m，超长段须采用“∞”字分段牵引或增设辅助牵引点，以确保主牵引力作用于磷化钢丝中心加强构件（杨氏模量不小于 190 GPa），而非外护套或光纤单元。牵引端

头与牵引索间加装旋转环以消除扭矩，光缆由缆盘上方自然放出，保持松弛弧垂，严禁打小圈、浪涌或急弯。布放后由专人逐井检查，稳妥置于托板并预留余长（每侧人井 10~15 m），免热胀冷缩或沉降导致光缆绷紧。

5.4 熔接与测试体系设计

5.4.2 熔接流程设计

熔接机参数调试：将熔接机调整为空芯光纤专属熔接模式，熔接前用器件进行试熔校准，验证熔接参数是否合适，熔接损耗是否达标。

光缆剥纤与清洁：采用专用光缆剥线钳剥纤，剥纤长度控制在 2-3米，剥纤过程中避免损伤光纤涂覆层；光纤剥纤后，用无尘纸蘸无水乙醇擦拭光纤端面，擦拭方向从根部向端面单方向擦拭，避免油污、杂质残留；擦拭完成后，立即进行端面检测，防止二次污染。

进水精准检测与截除：熔接前，熔接机识别进水形貌（端面出现水雾、水珠、变色）；若发现光纤进水，直至端检仪检测端面正常、无进水、无杂质后，再进行剥纤、熔接，杜绝进水段进入链路。

光纤切割：采用专用切割刀（如FujikuraCT110）切割光纤，切割角度 $\leq 0.5^\circ$ ；切割前检查切割刀刀片，刀片磨损严重时及时更换；切割完成后，严禁触碰光纤端面，立即将光纤放入熔接机进行熔接。

启动熔接机自动对准程序，设备通过摄像头识别光纤芯径与包层轮廓，完成粗对准与精对准；观察屏幕显示的对准界面，确认空芯光纤的孔隙排列、芯径中心完全重合。；同时查看空芯光纤端面是否有水汽，确保无水汽进入。

对准完成后，设备自动调整光纤间隙，手动检查间隙是否均匀，避免单侧间隙过大导致放电不均；若间隙异常，重启对准程序重新调整。

启动自动熔接程序，设备先执行预熔放电，软化光纤端面并去除表面杂质；再执行主熔放电，使两端光纤端面熔融并精准对接。

熔接完成后，保持防风罩关闭状态，让熔接点自然冷却，严禁提前开盖吹风冷却，防止温差过大导致熔接点产生微裂纹。

选取适配空芯光纤的薄壁高强度热缩管（内置不锈钢加强芯，长度60mm），从光纤一端套入至熔接点居中；将热缩管放入熔接机加热槽，启动加热程序，设置加热温度120℃-140℃、加热时间25-30s，采用“中间向两端”分段加热方式，避免热缩管内产生气泡。

加热完成后，取出光纤并冷却10s，检查热缩管是否均匀收缩、无褶皱，熔接点居中无偏移，再将光纤放入接头盒托盘卡槽内固定。

用OTDR对熔接点进行损耗复测；同时观察OTDR曲线，确保无反射峰、台阶峰等异常；记录熔接时间、光纤批次、熔接损耗、操作人员等信息，纳入施工台账，作为后续验收与维护的依据。

5.4.5 测试体系设计

整链测试：全链路光缆敷设、熔接完成后，进行整链全指标测试，测试采用“端到端双向测试”，确保测试数据精准；整链链路平均损耗小于设计值(如0.12dB/km)，传输时延3.3–3.46μs/km，偏振模色散≤0.2ps/√km；若整链测试指标不达标，按“跳线法兰清洁度→熔接点损耗→机房设备口→光缆本体”的顺序逐一排查。

故障排查：链路损耗超标时，首先擦拭尾纤和机房设备口端面，重新测试；若损耗仍超标，用OTDR定位损耗超标点，若为熔接点损耗超标，截断重熔；若为光缆本体损耗超标，检查光缆是否有挤压、弯折、进水，及时修复或更换光缆；若测试数据失真，检查OTDR参数是否设置正确，测试跳线是否清洁，设备是否校准。

6 施工

6.2 光缆敷设

6.2.1 通用敷设要求

1 选用与空芯光缆外径匹配的高强度编织光缆网套，网套内径需比光缆外径大1–3mm，网套编织密度≥90%，材质优先选用不锈钢丝或高韧性尼龙纤维，抗拉强度需满足敷设最大牵引力要求（不低于光缆短期允许拉力的1.2倍）。

2 网套安装时，需将光缆端部穿入网套至预设标记位置（网套有效包裹长度≥光缆外径的20倍），全程确保拉力仅作用于网套包裹的光缆护套，严禁将拉缆器挂钩直接连接光缆内加强芯，或通过剪断护套、剥离缆芯的方式牵引加强芯，严禁将网套直接套接在光缆接头或护套破损处。

3 拉拽过程中需安排专人在光缆敷设路径关键点（如管口、转角处）值守，实时观察光缆状态，确保网套无滑脱、光缆无扭转，弯曲半径始终≥40倍光缆外径。

4 架空敷设拉拽时，网套外侧需套上耐磨保护套管，避免网套与滑轮、井壁等硬质部件摩擦导致断裂；跨越障碍物时，需采用导向滑轮辅助，严禁光缆直接与障碍物接触受力。

6.2.2 管道光缆敷设接力牵引法技术要点

- ①在直线路由上，一台牵引机可以一次拉过2–3个井，在牵引阻力过大时减少一次牵引长度；
- ②在路径上设置多个牵引点，使用3台牵引机同时拉缆，接力完成敷设，可以减少出井盘留的工作量；
- ③在每台牵引机位置，牵引绳或者光缆出井绕大圈，然后进井，在此可以不盘留；
- ④光缆进出人手井处采用导轮保护，减少侧压，避免单侧压力过大导致光缆断芯。同时，减少光缆外护套磨损；
- ⑤每一次光缆出人手井，需要检查端头密封情况，破损需及时涂胶；
- ⑥光缆到达指定人井时做好盘留何端头保护，严禁将端头塞进管道。

⑦用拉缆机牵引光缆，如果速度很慢，表示阻力很大，要及时停下来检查管道，分析原因，以免网套盒封帽被拉脱。

⑧在直角或者锐角路由的场景或者管道里存在淤泥等障碍物导致接力牵引条件不成立时，建议每个井都拉出盘8字。

6.4 接头盒安装

6.4.1 接头盒安装与密封

1 熔接盘留及接头盒安装要求：接头盒需满足IP68防水等级认证，在水深1.5m环境下持续浸泡28天，盒内相对湿度 $\leq 60\%$ ，且熔接点附加衰减变化量 $\leq 0.03\text{dB/接头}$ 。密封结构采用双层硅橡胶密封件+不锈钢卡箍双重防护，密封件邵氏硬度控制在50-60HA，卡箍紧固力矩为25-30N·m，确保长期密封性能稳定。

2. 盘留半径：熔接后的空芯光纤余长盘绕半径 ≥ 50 倍光缆外径，且全程无扭转、无弯折，盘绕曲率均匀一致，严禁出现“死弯”或局部挤压。如存在空芯同普通光纤混合缆型，建议优先熔接空芯光纤。

3 固定方式：将盘绕好的光纤放入专用托盘卡槽，用低张力尼龙扎带间隔20-30mm轻扎固定，扎带拉力以“光纤不位移、不形变”为限，避免压力损伤空芯微结构。

4 盘留完成后，检查所有熔接点损耗值（OTDR复测），确认无异常后，在托盘内放置干燥剂包（硅胶干燥剂，含量 $\geq 20\text{g/盒}$ ），吸收盒内湿气。合上熔接托盘并扣紧卡扣，将托盘平稳放入接头盒壳体，确保托盘与壳体无间隙、无晃动；光缆进出缆口处缠绕防水胶带3-5圈，增强密封效果。

5 盖上接头盒上盖，均匀紧固不锈钢卡箍，按对角顺序分次拧紧螺栓，避免盒盖受力不均导致密封失效；紧固后用扭矩扳手复核力矩，确保达到25-30N·m标准。

6 封装完成后，在接头盒外壁粘贴标识标签，标注光缆型号、熔接日期、芯数、熔接损耗等信息，便于后续维护查询。

6.5 入局成端

6.5.2 适配器使用前保持整体封装状态，熔接现场即时分离为两端后须立即密封固定，防止端面污染或水分侵入。