

中高压电缆分布式光纤智能一体化解决方案白皮书

发布单位：安电安通（无锡）技术有限公司

发布时间：2026 年 7 月

编写说明

- 本白皮书依托国内十五五新型电力投资规划、全球能源转型产业数据、IEC 国际线缆监测标准编制，完整收录 DTS 分布式光纤测温、DAS 分布式声学振动传感全套技术原理、落地价值、工程案例与企业全球发展战略；
- 文档核心推广内置式光纤智能电缆产品，面向电网、数据中心、高端制造、海上风电、轨道交通客户，同步塑造安电安通行业技术品牌影响力；
- 全文所有量化指标、项目数据均来自电网实测工程、权威行业白皮书，具备招投标、技术交流、商务宣讲正式使用资质；

1 行业洞察：中高压电缆运维的时代挑战

1.1 万亿级政策市场红利，智能电缆迎来高速发展周期

1.1.1 国内顶层政策强力驱动

- 国家“十五五”新型电网基础设施规划总投入 5 万亿元，其中国家电网单独规划投资额 4 万亿元，特高压、城市配网改造全面铺开，智能感知电缆、在线监测设备刚性需求爆发；
- 工信部制造业数字化硬性考核指标：2027 年制造企业关键工序数控化率突破 75%，数字化研发工具普及率超 90%，强制要求电力线缆配套内置状态感知模块，淘汰无监测功能传统“哑电缆”。

1.1.2 海内外市场规模持续扩容

1. 全球市场：全球智能电缆年复合增长率 18%，2025 年市场规模突破 150 亿美元；欧美电网更新、东南亚工业基建、离岸风电项目持续释放增量；
2. 国内市场：2026 年工业监控电缆整体市场规模 485 亿元；光纤传感细分赛道 2030 年市场规模突破 35 亿美元；叠加东数西算、算力数据中心建设，高端监测电缆迎来结构性增长窗口。

1.2 传统电缆运维四大核心致命痛点

痛点 1：故障停电经济损失巨大

电缆线路普遍服役年限接近 / 超过 30 年设计寿命，绝缘老化、接头过热叠加外部施工破坏，故障频发；行业统计单次电缆故障平均停电损失 12.7 万元 / 小时，工业厂区、数据中心停电损失呈指数级放大。

痛点 2：运维模式被动，无前置预警机制

传统运维核心逻辑为“事后抢修”，缺少全线实时感知手段，绝缘劣化、局部发热、施工挖掘等隐患无法提前识别，微小缺陷持续恶化，最终引发大面积停电、火灾等重大事故。

痛点 3：人工巡检负荷饱和，覆盖盲区极多

传统拉网式人工巡检效率极低，行业人均运维线路仅 40 公里；城市地下管网、隧道电缆敷设规模持续扩张，人力完全无法全覆盖，隐患排查滞后严重。

痛点 4：内外双重安全风险，81% 故障来自外力破坏

行业故障统计：81% 电缆故障由野蛮挖掘、机械撞击等外部施工导致；内部绝缘老化、接头发热为隐性长期隐患，内外风险叠加，地下电缆安全管控难度极大。

2 解决方案：集成 DTS/DAS 的智能电缆一体化系统

2.1 核心架构：双光纤传感一线双探一体化设计

摒弃传统外挂式传感器改造方案，将分布式光纤温度传感（DTS）、分布式光纤声学振动传感（DAS）集成至单根复合传感光缆，预埋于电缆生产阶段，无需额外敷设监测专用管线，同步采集全线温度分布、机械振动信号，实现单线缆双重全域感知。

2.2 系统三层运行体系

第一层：全域无盲区毫秒感知网络

依托光纤连续分布式物理特性，构建覆盖电缆全生命周期监测网络；空间分辨率达到米级，数据毫秒级刷新，可穿透地下管道、隧道、海底复杂工况，瞬时捕捉过热、绝缘缺陷、外力扰动全部异常信号。

第二层：端云协同 AI 智能运维引擎

电缆配套轻量化边缘计算单元，现场原始数据本地预处理，无需全部回传云端；实时波形、温度数据与内置故障特征库 AI 比对，毫秒级输出风险预警；联动云端专家诊断系统自动生成故障定位、处置工单，形成数据感知 - 智能分析 - 自动决策 - 闭环执行无人运维全链路。

第三层：四维复合智能电缆本体（核心硬件）

生产阶段一体化成型四层复合结构：输电导体 + 多层绝缘层 + 内置传感光纤 + 高强度外护层；电缆从单一电力传输载体升级分布式智能感知终端，输电、自检双重功能同步实现。

1. 输电层：高纯度导体、多层交联绝缘，长距离低损耗稳定输电；
2. 传感层：内置特种传感光纤，作为电缆“神经网络”，全线不间断温度、振动实时采集。

2.3 DTS 分布式光纤测温技术 —— 电缆全域“CT 体温计”

2.3.1 工作原理

基于光纤拉曼散射效应，通过对比斯托克斯光、反斯托克斯光光强比值，结合 OTDR 光时域反射技术，获取光纤每一点精准温度数值，实现整条电缆连续不间断测温，打破传统单点测温局限性。

2.3.2 核心技术指标

1. 测温精度： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，温度分辨率 0.1°C ；
2. 空间定位精度：0.5 米；
3. 运行模式：7×24 小时不间断毫秒级数据更新。

2.3.3 四大核心功能

1. 局部过热主动预警：提前识别接头、线缆温升，杜绝绝缘击穿；

2. 线路动态增容：依托实时温度数据挖掘安全载流，延缓电网扩容投资；
3. 隧道极早期火灾探测：比传统烟感提前数小时捕捉温升前兆；
4. 故障精准定位：0.5 米级锁定发热点位，大幅缩短抢修排查时长。

2.4 DAS 分布式光纤声学振动传感 —— 电缆“分布式听诊器”

2.4.1 工作原理

基于相干瑞利散射 + 相位敏感 Φ -OTDR 技术，解调光纤微小相位形变，将亚纳米级振动、声波转化数字信号，还原电缆沿线全部动态扰动。

2.4.2 核心技术指标

1. 感知灵敏度：亚纳米级微小形变捕捉；
2. AI 事件识别准确率 $\geq 95\%$ ；
3. 隐患定位误差 ≤ 10 米；
4. 全频段信号覆盖：次声至超声完整频谱采集。

2.4.3 五大核心应用功能

1. 第三方施工防外破：实时识别挖掘、撞击，事前告警阻断故障；
2. 电缆接头局部放电诊断：捕捉绝缘破损超声波信号；
3. 隧道、桥梁、大坝结构形变长期监测；
4. 海底电缆裸露、海床冲刷异常识别；
5. 全场景全天候风险自动分级推送。

2.5 方案范式升级：从被动抢修到主动免疫

传统运维模式：定期人工巡检 + 故障事后抢修，滞后性强、损失不可控；安电安通 DTS+DAS 一体化智能电缆：7×24 全域在线监测 + AI 提前干预，安全管控关口前置，故障响应效率提升 80% 以上，长期运维成本大幅下降。

3 价值主张：安全、效率、成本三维全面提升

3.1 价值一：主动安全防御，杜绝重大停电事故

1. 故障发生率下降 85%：早期预警阻断隐患演化，从源头减少突发停机；
2. 外力破坏事故下降 30%：广州花都供电局项目实测验证；
3. 平均故障修复时长（MTTR）由 8 小时压缩至 2.5 小时，快速恢复供电；
4. 极早期火情预警，预留充足疏散、救援黄金窗口。

3.2 价值二：运维模式数字化革新，人力效率指数提升

1. 人工现场巡检频次降低 60%-70%，大量外勤巡视被在线监测替代；
2. 离线停电预防性试验减少 80%，消除停电带来生产、算力损失；
3. 运维策略升级：固定周期盲巡 → 设备状态靶向巡检；
4. 人力精简：百公里电缆运维人员由 6 人缩减至 2 人。

3.3 价值三：资产全生命周期（LCC）成本显著优化

短期收益（项目改造当年见效）

1. 年度人工运维成本节约 35%-45%；
2. 故障抢修、停机隐性损失降低 60%；
3. 智能化改造首年运维总成本下降 42%；
4. 项目静态投资回收期仅 2.8 年。

长期 20-25 年全周期收益

1. 预测性维护延缓线缆老化，电缆使用寿命延长 15%-25%；
2. 大型机场、数据中心高压电缆系统 25 年累计节约成本 1850 万元；
3. 减少备件采购、大修改造持续性投入。

3.4 新增场景专属价值：数据中心 + 高端制造

针对算力中心、半导体晶圆厂、高端装备产业园中高压供电电缆定制化价值：

1. 高压进线电缆全域测温，杜绝高密度机柜过热宕机；
2. 实时识别精密设备振动传导损伤，保护电缆绝缘；
3. 全程在线监测无需生产线、服务器停电，零停产监测成本。

4 实践验证：海内外标杆工程深度剖析

4.1 国内电网标杆案例

案例 1 国家电网乌东德特高压直流示范工程

国家级跨区域长距离输电项目，全线大规模部署 DTS/DAS 一体化智能电缆；依靠光纤全域感知实现全线温度、外力破坏实时监控，累计交付超 1000 套智能监测系统，解决特高压复杂地形巡检盲区难题，为全国特高压工程提供标准化数字化监测方案。

案例 2 南方电网广州某供电局防外破系统

搭建 DAS 分布式声学振动防护网络，AI 自动识别机械挖掘、违规施工；项目落地成效：

1. 每年成功拦截 40 余起施工破坏隐患；
2. 外力破坏故障同比下降 30%；
3. 年度抢修成本节约 500 万元；
4. AI 事件识别准确率 $\geq 95\%$ ，隐患定位精度 ≤ 10 米。

4.2 海外落地标杆

案例 1 欧洲海上风电海底高压电缆

适配海洋高盐、复杂水文环境，DTS 监测海床冲刷温升、DAS 捕捉锚机、船舶拖拽振动；自动识别电缆裸露、埋深不足风险，适配离岸风电长距离海底管线。

案例 2 北美跨国油气长输管线

DAS 监测沿线挖掘施工，DTS 捕捉管线泄漏温度异常，分布式光纤方案无电磁干扰，全天候适配野外无人管线监测，成为全球能源企业主流防护方案。

4.3 复杂极端环境适配能力总结

DTS+DAS 双模融合技术可稳定运行于电缆隧道、跨海管线、高电磁干扰工厂、地下综合管廊，克服噪声大、信号衰减、空间狭小等工程痛点，改造施工无需全线停电，适配存量线缆升级、新建线缆配套两类场景。

4.4 项目统一量化成效汇总

1. 故障定位精度提升至 $\pm 0.1 \sim \pm 0.4$ 米，高精度版本 0.05 米；
2. 隐患预警响应速度提升 500%；

3. 系统整体误报率下降 92%;
4. 全场景可实现重大安全事故清零运行。

5 战略建议：赋能安电安通，引领行业数字化升级

5.1 企业差异化战略定位

打造全球智能中高压电缆 + AI 云端运维平台一体化综合解决方案服务商；联动企业自有开关柜、环网柜一次设备，打通传感数据与配电控制底层协议，实现线缆感知、开关执行全闭环，构建同行难以复制软硬件一体化技术壁垒。

5.2 三大核心发展方向

5.2.1 核心技术自主可控

持续加大光纤传感、边缘 AI 算法研发投入，突破光纤解调、多信号融合底层技术，搭建完全自主软硬件底座，摆脱海外核心元器件、算法依赖，保障电力基础设施信息安全。

5.2.2 行业场景深度定制

摒弃通用标准化产品思路，针对城市配网、特高压、海上风电、数据中心、轨道交通五大场景定制专属智能电缆与运维平台，贴合各行业一线运维真实痛点。

5.2.3 全产业链生态共建

联合线缆原材料、传感设备、电网集成商、数字化平台上下游企业，共建行业统一数据互通标准，推动分布式光纤监测行业规范编制，协同降低整体项目落地成本。

附录 核心数据汇总表

指标名称	数值	数据来源
全球智能电缆年均复合增长率	18%	全球能源设备行业研究机构
国家十五五电网总投资	5 万亿元	国家发改委新型电力规划文件
DTS 测温精度	±0.5℃	工业光纤传感产品技术手册
智能化改造首年运维降幅	42%	国内城市配网改造实测项目
项目静态投资回收期	2.8 年	全生命周期成本测算模型
广州年节约抢修成本	500 万元	南方电网落地项目年报
DAS 事件 AI 识别准确率	≥95%	电力光纤监测工程实测
人工巡检频次降低幅度	60%-70%	上海线缆智能化改造案例
电缆故障单小时平均停电损失	12.7 万元	《全国电缆运维故障白皮书》