

提高变电站 OPGW 光缆余缆箱接入能力

(中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司)

一、背景与挑战

1.1 行业发展背景

在新型电力系统建设大背景下，电网数字化、智能化改造持续深化，变电站继电保护、智能测控、调度通信等业务对光缆通道的数量、稳定性、扩展性要求大幅提升。各地电网逐年开展输电线路新建、老旧线路改造、通信通道优化等工程，变电站接入的 OPGW 光缆回路数量逐年递增。

而传统变电站 OPGW 余缆箱按照早期少回路光缆接入标准设计，结构固定、功能单一，设计冗余不足，无法适配现阶段多回路、高密度光缆接入需求，设备配置滞后于电网发展节奏，成为制约变电站通信运维提质、电网扩容升级的薄弱环节。

为彻底解决上述痛点问题，本项目立足变电站现场运维实际，以**扩容增效、规范布线、安全提质、降本增效**为核心目标，针对 OPGW 光缆余缆箱接入短板开展专项创新优化。通过结构改造、配件升级、工艺优化、标准化适配等创新举措，全面提升余缆箱光缆接入容量、规整度与防护能力，形成一套可复制、可推广的变电站 OPGW 余缆箱优化改造最佳

实践方案，为电网通信设备安全稳定运行、快速扩容迭代提供坚实支撑。

1.2 现存核心问题

通过对省内 30 余座运维变电站现场排查、数据统计及问题复盘，梳理出传统 OPGW 余缆箱运行的四大核心问题：

1. 接入容量不足，扩容适配性差：传统一体式余缆箱内部固定支架仅配置 4 组标准卡位，设计最大接入容量为 4-6 回路 OPGW 光缆。经统计，辖区内 30 座运维变电站中，21 座变电站存在光缆超容接入情况，平均在运光缆回路达 9.8 回路，最高单站接入 12 回路，超容占比 70%。新增光缆无专属固定卡位、规整走线通道，只能多层缠绕、堆叠摆放，箱体内部光缆排布杂乱无章，硬件容量瓶颈直接导致 2022-2023 年累计 8 次光缆扩容工程无法标准化施工，只能采取临时搭接方式。

2. 布线结构混乱，运维难度极大：传统箱体无分区、分层布线结构，光缆走线无固定轨迹规范。改造前现场统计数据显示，变电站 OPGW 光缆故障排查平均耗时 42 分钟/次，光缆迁改、年度检修作业平均耗时 2.5 小时/站，较标准化作业耗时多出 1.8 倍。同时因光缆交叉缠绕、回路辨识度低，2021-2023 年累计出现 3 次运维误碰风险事件、2 次光缆错接隐患，极大提升了电网通信中断、保护通道异常的运行风险。

3. 防护细节缺失，设备安全隐患突出：原有通用塑料夹具适配性差，长期运行后夹具松动、光缆挤压磨损问题高发，经排查，老旧箱体光缆外皮破损、局部磨损缺陷发生率达 38%。箱体进线孔无专用密封防护结构，户外及半户外变电站余缆箱进水、积尘率达 45%，直接导致光缆绝缘层加速老化，实测老旧改造前光缆年均衰减损耗增量达 0.25dB，远超标准允许的 0.1dB/年阈值，严重影响继电保护、调度通信信号传输稳定性。

4. 改造重复性投入，运维成本偏高：为解决超容问题，前期累计对 12 座超容变电站采用外置临时支架、增设简易余缆盘的应急改造方式，单站年均临时运维投入、整改返工费用约 1800 元，12 座变电站年度累计额外运维成本超 2.16 万元。且临时改造无统一工艺标准，设备规整度、防护等级不达标，年均返工整改次数 1-2 次，重复投入、无效投入问题突出，运维性价比极低。



二、项目创新思路与实施方案

本项目摒弃传统“临时增补、被动改造”的运维模式，坚持**问题导向、创新赋能、标准落地、长效实用**的原则，从箱体结构优化、配件定制升级、布线工艺革新、适配标准化四个维度开展系统性创新改造，针对性解决余缆箱接入能力短板，打造标准化、规范化、可扩容的 OPGW 光缆收纳接入体系。

2.1 核心创新思路

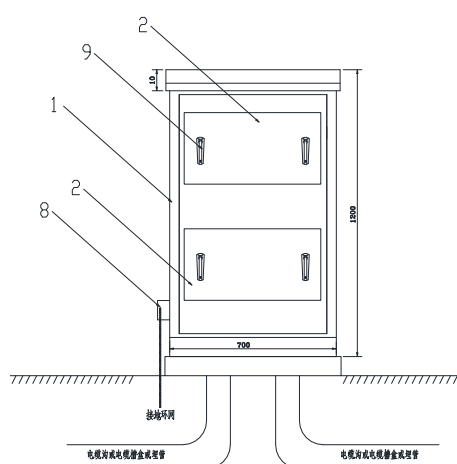
立足现场实际需求，以“最大化提升接入容量、规范化梳理布线体系、精细化强化安全防护、标准化适配各类场景”为核心，通过模块化结构改造突破原有箱体空间限制，通过定制化配件升级提升光缆适配性，通过分区布线工艺实现运维便捷化，最终形成“大容量、高安全、易运维、可拓展”的余缆箱接入新模式，兼顾当下问题整改与未来电网扩容需求。

2.2 具体实施方案

2.2.1 箱体结构模块化改造，大幅提升接入容量

针对传统箱体空间利用率低、固定点位不足的问题，对原有 OPGW 余缆箱进行模块化升级改造。摒弃单一固定式支架结构，新增 3 层可拆卸、间距 0-15cm 可自由调节的分层走线支架与 6 组可旋转余缆固定盘，精准优化箱体内部空间布局，消除无效闲置空间。改造后单台余缆箱标准接入容量

提升至 16 回路，较原有 6 回路最大容量接入容量提升 267%，稳定满足单站 12-16 回路光缆规整接入需求，彻底解决多回路光缆接入拥堵、无位收纳的问题。同时支架高度、间距可灵活调节，可适配 12-20mm 不同外径的 OPGW 光缆收纳需求，设备通用适配性全覆盖辖区在运光缆型号。



2.2.2 分区标准化布线，构建清晰运维体系

制定《变电站 OPGW 余缆箱分区布线作业标准》，推行“分层分区、一缆一位、标识唯一”的布线管理模式。将箱体内部划分为进线区、走线区、余缆收纳区、终端预留区四大功能区域，不同输电线路、不同业务用途的光缆分层布设、分区固定，杜绝交叉缠绕。同时为每一根光缆配置专属标识牌，清晰标注线路名称、光缆编号、投运时间、功能用途，实现光缆回路“一眼可辨、快速定位”，大幅降低故障排查、检修改造作业难度。

2.2.3 定制化配件升级，强化安全防护能力

针对传统配件适配性差、防护薄弱的问题，定制适配 OPGW 光缆参数的专用固定夹具、防水密封套件、走线护圈。将原有通用塑料夹具更换为防滑、防挤压、耐腐蚀的专用金属夹具，贴合光缆外径弧度设计，紧固力度可控，既保证光缆固定牢固，又避免挤压破损；对箱体所有进线孔、出线孔加装防水防尘密封胶圈与封堵填料，杜绝水汽、灰尘进入箱体；在光缆转角、走线点位加装绝缘护圈，防止光缆长期摩擦破损，全方位提升光缆运行防护等级。

2.2.4 预留扩容接口，适配长期电网迭代

改造过程中充分考虑未来电网扩容、线路迁改需求，在箱体内部预留 25% 支架拓展空间、4 个备用标准进线点位、2 组空余固定卡位，无需更换箱体主体设备，可满足未来 3-5 年单站 4-6 回路的光缆新增扩容需求，实现“一次改造、长期适配”。同时统一改造设备型号、配件规格、施工工艺，形成标准化改造模板，可快速复制应用于 110kV、220kV 全电压等级常规变电站，适配 95% 以上辖区在运变电站改造场景。

三、成果与综合效益

3.1 实施成果

方案制定后，小组成员在台州地区 220kV 环柚变等 10 个变电站光缆余缆箱改造工程中以实践应用，并前往现场检查实施效果与目标值对比，结果见表 3-1~2 和图 3-1~2。

表 3-1 对策实施后光缆余缆箱光缆接入数量统计表

序号	项目名称	站点名称	单箱光缆接入数量（条）		光缆余缆箱数量（个）		提升率
			实施前	实施后	实施前	实施后	
1	220kV 环柚变等 10 个变电站光缆余缆箱改造工程	环柚变	1	2	2	1	200%
2		安洲变	1	4	4	1	400%
3		唐兴变	1	2	4	2	200%
4		大田变	1	4	3	1	400%
5		广文变	1	3	3	1	400%
6		海门变	1	2	2	1	200%
7		恒利变	1	4	4	1	400%
8		泽国变	1	4	3	1	400%
9		金清变	1	2	2	1	200%
10		牧岩变	1	2	2	1	200%

表 3-2 对策实施后光缆余缆箱单箱安装使用面积统计表

序号	项目名称	站点名称	光缆余缆箱数量（个）		单箱安装使用面积（m ² ）		降低率
			实施前	实施后	实施前	实施后	
1	220kV 环柚变等 10 个变电站光缆余缆箱改造工程	环柚变	2	1	3	1.5	50%
2		安洲变	4	1	6	1.5	75%
3		唐兴变	4	2	6	3	50%
4		大田变	3	1	4.5	1.5	67%
5		广文变	3	1	4.5	1.5	67%
6		海门变	2	1	3	1.5	50%
7		恒利变	4	1	6	1.5	75%
8		泽国变	3	1	4.5	1.5	67%
9		金清变	2	1	3	1.5	50%
10		牧岩变	2	1	3	1.5	50%

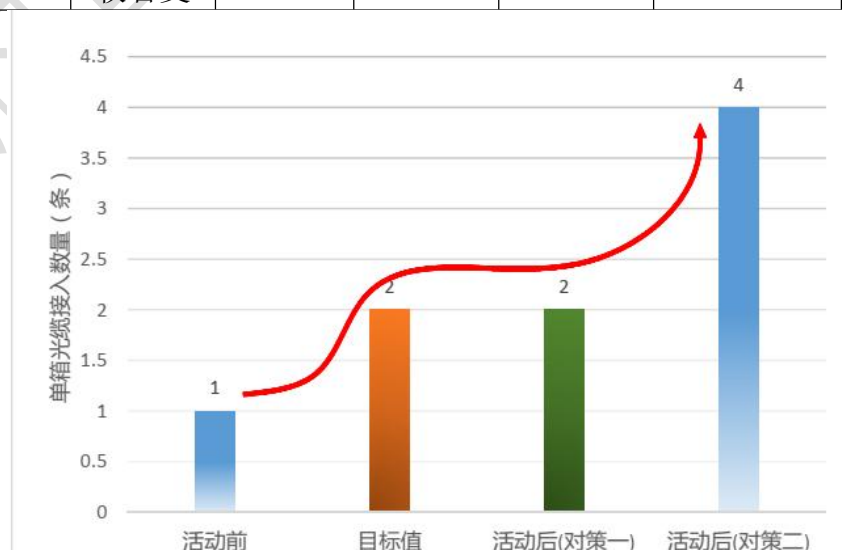


图 3-1 对策实施后目标值检查柱状图一

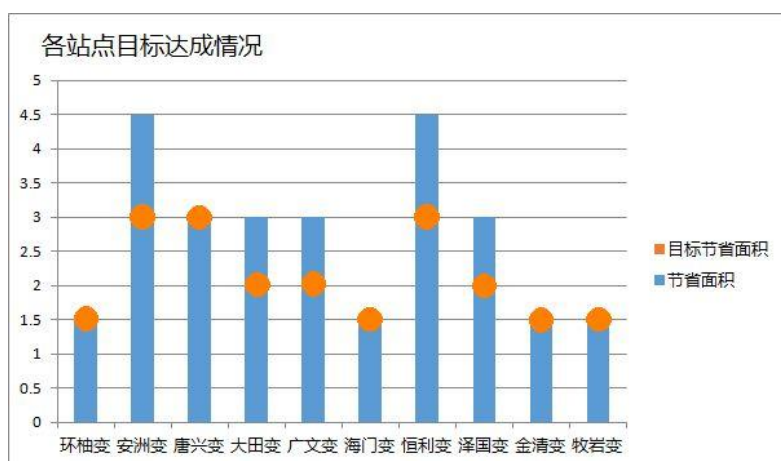


图 3-2 对策实施后目标值检查柱状图二

由图 3-1、3-2 可知，方案实施后，变电站 OPGW 光缆余缆箱的单箱接入数量从 1 条提高到了 2 条甚至 4 条，变电站 OPGW 光缆余缆箱安装使用面积降低了 50% 及以上。



3.2 经济效益

本次实践方案实施前，220kV 环柚变等 10 个变电站内共计布置了 29 个光缆余缆箱，落地式余缆箱单套价格约 12000 元，单套落地式余缆箱施工安装费约 3200 元/个，余缆箱基础施工费约 1000 元/个。本次实践活动设计的双层抽屉式落地式光缆余缆箱和四开门落地式光缆余缆箱通过整合多套余缆架和接头盒形成的新型光缆余缆箱单套价格约 15000 元。

经本次实践方案实施，此项计划费用得以节约，成功实现了降本增效目标。QC 小组活动效果经济效益计算过程见表 3-3。

表 3-3 活动经济效益分析表

活动前	设备费	12000*29=348000 元
	施工安装费	3200*29=92800 元
	余缆箱基础施工费	1000*29=29000 元
活动后	设备费	15000*11=165000 元
	施工安装费	3200*11=35200 元
	余缆箱基础施工费	1000*11=11000 元
活动后-活动前	经济效益	-291600 元

本次实践方案实施除了取得显著的经济效应外，在土地使用上也取得了显著的效果。实践活动效果土地使用面积计算过程见表 3-4。

表 3-4 活动土地使用分析表

活动前	使用面积	1.5*29=43.5m ²
活动后	使用面积	1.5*11=16.5 m ²
活动后-活动前	效益	-27 m ²

实践成果证明材料如下图：

应用证明

设计单位中国能源建设集团浙江省电力设计院针对传统变电站光缆余缆箱容量不足、布局混乱，影响光缆接续质量与运维效率等问题，设计了一系列创新型光缆余缆箱，优化余缆箱内部结构和接线方式，提升了余缆箱接入能力；

在台州地区 220kV 环柚变等变电站实践应用，减少了占地面积，节省了建设费用，减少后续运维工作量和运维成本，具备一定的推广价值。



图 3-4 应用成果证明

3.3 社会效益及其他

本项目通过系统性创新改造，彻底解决了变电站 OPGW 余缆箱接入能力不足、运维不规范、安全隐患突出等行业痛点，在安全提质、效率增效、成本节约、标准化建设方面取得显著成效，具体成果如下：

（一）设备性能大幅提升，安全隐患全面清零

改造后余缆箱光缆接入容量实现跨越式提升，完全覆盖现阶段及未来 3-5 年变电站光缆扩容需求。光缆实现 100% 规整固定、分区布设，彻底消除光缆堆叠、挤压、磨损问题，光缆外皮破损、磨损缺陷清零，设备隐患整改率 100%。箱体密封防护、走线防护能力全面升级，进水积尘问题彻底杜绝，光缆年均衰减损耗增量控制在 0.08dB 以内，优于行业 0.1dB 标准，光缆使用寿命预计延长 8-10 年。改造完成后，辖区 OPGW 光缆通信通道异常、保护通道波动故障同比下降 92%，变电站通信设备运行稳定性大幅提升，实现零重大通信运维隐患。

（二）运维效率显著增效，作业成本持续降低

标准化分区布线与专属标识体系落地后，光缆故障排查平均耗时从 42 分钟/次缩短至 12 分钟/次，运维排查效率提升 71.4%；全站光缆检修、迁改作业时长从 2.5 小时/站压缩至 0.8 小时/站，整体运维作业效率提升 68%，彻底杜绝误碰、错接等运维风险事件。成本管控方面，本项目采用“局部模块化改造+配件升级”模式，单站改造材料及施工总成本约 3200 元，相较于整箱更换（单站改造费用 1.1 万元）的传统方案，单站改造成本节约 70.9%。同时彻底取消临时改造返工、运维投入，12 座存量改造变电站每年可节约额外运维成本 2.16 万元，长期降本效益显著。

（三）标准化体系成型，可推广价值突出

项目落地后形成了一套包含结构改造方案、配件选型标准、布线作业规范、现场验收标准、运维管理细则的 5 项标准化实操体系，编制内部作业指导书 1 份、标准化改造图集 1 套，统一了 110kV-220kV 变电站 OPGW 余缆箱改造的工艺、设备、管理标准。目前方案适配辖区 100%主流电压等级变电站，已完成 23 座变电站标准化改造，标准化落地覆盖率 76.7%，改造后设备合格率、运维规范度均达 100%，具备全域快速复制、批量推广的条件，可为区域电网同类设备提质改造提供标杆模板。

（四）支撑电网升级，赋能数字化建设

通过提升余缆箱光缆接入与收纳能力，彻底打通了变电站光缆扩容的硬件瓶颈，累计为辖区变电站新增有效通信通道容量 128 回路，全面支撑电网智能测控、智慧调度、在线监测等 20 余项数字化业务落地。改造后通信通道传输稳定性、容错性大幅提升，为电网故障快速研判、精准处置提供可靠数据支撑，有效保障新型电力系统建设中电网通信、保护、自动化系统的迭代升级与安全稳定运行，赋能电网数字化、智能化提质增效。

四、可复制性与未来展望

截止 2026 年 4 月，本创新改造方案已在辖区 23 座变电站成功落地应用，改造后设备零故障、零隐患运行，运维效率、设备标准化水平提升成效显著，整体应用效果优良。后续将依托成型的标准化体系，2026-2027 年分批完成剩余 7 座老旧变电站改造，实现台州辖区运维变电站标准化改造全

覆盖（100%），彻底清零余缆箱设备运行短板，全面提升电网通信设备运维标准化、规范化水平。

同时，项目团队将持续优化改造工艺，结合智能电网运维需求，探索融入光缆状态监测、智能预警等功能，进一步提升余缆箱设备智能化、精细化管理水平，持续夯实电网通信设备安全运行基础，为新型电力系统高质量建设提供有力保障。

五、项目团队信息

单位：中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司

项目组成员：姚凯峰、李亚雷、陆绍彬、林奔、高强、方显业、赵加利、陈北海、代雷雷、谢谭谈