城市配电网改造设计与供电质量提升研究

梁健全
广东顺德电力设计院有限公司，广东 佛山 528303

[摘要]城市配电网改造的难点在于，在已经形成的网架以及密集负荷的情况下进行可实施的改善。对网架联络率高、馈线自动化动作逻辑和分布式电源不相容、电压谐波超标、施工停电窗口受控制较紧等矛盾进行诊断后，提出了各种分项的治理措施。网架层面用标准化接线和有效联络代替形式联络，设备层面按照故障位置分层配置馈线自动化策略，供电质量层面按照电压偏差、三相不平衡、谐波和光伏反向重载分项匹配治理装置，施工层面采用旁路转供和发电车补偿压缩停电时户数。

[关键词]城市配电网；网架标准化；馈线自动化
DOI：10.33142/hst.v9i9.20637　　中图分类号：TM727.2　　文献标识码：A

Research on Urban Distribution Network Renovation Design and Power Supply Quality Improvement

LIANG Jianquan
Guangdong Shunde Electric Power Design Institute Co., Ltd., Foshan, Guangdong, 528303, China

Abstract: The difficulty of urban distribution network renovation lies in implementing feasible improvements in the existing network structure and dense loads. After diagnosing the contradictions such as high grid connection rate, incompatibility between feeder automation action logic and distributed power sources, excessive voltage harmonics, and tight control of construction power outage windows, various sub item governance measures were proposed. At the grid level, standardized wiring and effective communication are used instead of formal communication. At the equipment level, feeder automation strategies are configured layer by layer according to the fault location. At the power supply quality level, matching treatment devices are used for voltage deviation, three-phase imbalance, harmonics, and photovoltaic reverse overload. At the construction level, bypass power supply and generator vehicle compensation are used to compress the number of households during power outages.

Keywords: urban power distribution network; standardization of grid structure; feeder automation

引言

城市配电网改造一直存在着一个结构性矛盾，即负荷密度不断增大、分布式光伏在低压台区快速渗透，对电压合格率和供电可靠性提出了更高的要求，但是由于既有网架大多为辐射式结构，联络开关的数量很多但是可转供容量有限，部分联络点在故障时不能真正承担起对侧负荷的转供任务。单纯地增加联络数量或者更换大容量的设备，很容易陷入“改造就过载”的循环中。更为可行的思路就是把改造拆分成可以独立验证的环节，即先通过诊断找到网架、设备以及电能质量中具体的短板，然后根据每种问题选择最小必要的治理措施，最后用停电时户数和指标的变化来衡量改造的效果。文献中已经建立出了安全性、可靠性、经济性、低碳性、适应性五个方面共五十项指标的自动分析系统，并生成了问题清单，但是诊断结果怎样转化为具体的治理措施还缺乏系统的研究。

1 城市配电网现状诊断与问题梳理

诊断的第一步就是把账面指标和实际能力之间的差距区分开来。网架基础数据中环网化率、联络率都是根据开关配置来统计的，但是有些联络点两侧馈线来自同一个变电站母线，或者联络开关额定电流不能承受故障时的转移负荷，在 N-1 条件下实际可转供容量远小于账面值。诊断时应以可转供容量和故障后负载率的比值来代替单一的联络率指标，把联络分为有效联络和形式联络两种类型，前者进入目标网架保留，后者在改造中简化或者消除。

设备层面的诊断重点不是看设备台账是否完整，而是看故障分布和设备状态的关系。高故障台区、线路的缺陷记录如果只按照设备类型进行分类，就很难发现分段开关之间用户数过多、大分支缺少保护级差等结构上的问题[1]。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在诊断指标中增加“分段开关间用户数大于 5 户的线路”以及“同杆三回”等结构性条目，比单纯统计配变重过载率更能找到故障隔离失败的原因。

供电质量问题的诊断要将监测数据同负荷构成联系起来。低电压台区是由三相不平衡造成的单相电压跌落或者供电半径过大引起的稳态压降，两种情况的治理方法完全不同。谐波问题也一样，居民台区的谐波主要为三次谐波，大多是由单相整流负荷造成的；工商业台区的谐波次数分布较广，有可能造成并联电容器和系统电感之间发生谐振。诊断阶段如果不能对谐波频谱和三相电流不平衡率的时序特征加以区分，那么后面的治理装置选型就没有了依据。分布式光伏渗透率较高的台区还要专门提取午间反向功率峰值和并网点电压序列，判断过电压是光伏出力瞬时抬升造成的，还是变压器分接头位置长期偏高叠加造成的。

2 网架结构与设备改造设计

2.1 中压网架标准化与联络优化

网架改造的主要判断标准是故障后非故障区段在允许的时间内能否恢复供电，而不是接线形式是否整齐。架空线路采用多分段适度联络的方式，分段数量的确定要考虑到故障隔离的范围以及开关动作配合的难易程度，主干线分段数一般控制在 3～5 段。联络点的选择应该优先考虑来自不同变电站或者同一个变电站不同主变低压侧的馈线，保证转供后负载率不超过联络设备和对侧线路的短时允许值[2]。多联络网架虽然可以提高线路负载率上限，但是联络开关的操作逻辑和潮流方向也随之变得复杂起来，在馈线自动化还没有覆盖到全部联络点的地区，两分段两联络或者三分段单联络的过渡结构比追求高联络率更有操作性。

电缆网架以单环式为基本结构，条件允许时向双环式或者 N 供一备过渡。环网柜的进线、出线间隔应留有可以扩展的联络单元，不能在改造时整柜更换。对于存量辐射式线路，过渡方案应按照“先加联络、后增分段”的顺序进行，即先通过单联络来获得故障后的转供能力，然后根据故障统计来增设分段开关，从而减少一次性改造给停电窗口带来的集中占用。

2.2 配电设备升级与馈线自动化配置

馈线自动化配置要和故障位置分层相适应，主干线故障的恢复依靠变电站出线保护和联络开关的配合，分支线故障依靠分支开关或者分界负荷开关隔离。架空线路故障高发区段，用就地式馈线自动化加多级级差保护、智能断路器的方式可以将非故障区段的恢复时间缩短到秒级。经过改造后的试点线路，在故障发生时能够在 8s 之内完成供电恢复，供电可靠性达到 99.999%，这表明就地控制策略在动作速度上比集中式 FA 要好得多。电缆网架的自动化重点应该放在环网箱的环进环出节点上，首先保证遥信、遥测的全覆盖，然后逐步扩展遥控功能，在通信通道不可靠的情况下，不得强行投入遥控操作。

分布式光伏接入馈线之后，故障电流方向和幅值不再由系统电源单侧来决定，传统的过流保护整定基础也随之改变。自动化配置要增加方向判别元件和自适应逻辑，使分段开关在反向潮流下仍然可以正确地识别出故障区段。对于光伏渗透率高的一些线路，在联络转供逻辑上需要加入对侧馈线电压的限制，防止转供后光伏并网点的过电压问题进一步恶化。

3 供电质量专项治理

3.1 电压偏差与三相不平衡治理

电压偏差的治理要先分清原因，再选择装置。供电半径过大造成的末端压降，先用增设调压器或者改变配变分接头的方法来解决；三相不平衡引起的单相电压下降，应该从负荷相序的调整入手。智能换相开关可以不中断供电就将重载相的单相负荷转移到轻载相上，适合于居民台区负荷时段差异大的情况。对于不平衡度长期偏高、换相操作频繁的台区，采用并联接入的电力电子型三相不平衡补偿装置，响应速度快，但是容量的选择应该根据实测的不平衡电流峰值而不是平均值来确定，防止出现容量过大或者反复过载的情况。

3.2 谐波与功率因数治理

谐波治理不能在每一条馈线上都装上有源滤波器，应先通过谐波频谱分析确定主导次谐波和主要谐波源的位置，对于分散的小容量谐波源可以采取在配变低压侧集中治理的方式，对于单一大型非线性负载则应在用户接入点就地治理[3]。有源电力滤波器在容量范围内对低次谐波的滤除率可以达到 97%以上，但是选型时需要校核其补偿容量和系统短路容量之间的匹配关系，防止滤波器投入后引起新的谐振。功率因数提高不能只依靠电容器组，谐波含量高的母线上，电容器和系统电感所形成的并联谐振会放大背景谐波，应采用无源滤波和有源补偿相结合的方式，或者直接使用具有无功输出能力的变流装置。

新型集成化电压质量提升装置把动态无功补偿、谐波抑制、三相不平衡补偿三者结合在一起，对农网以及负荷变化大的台区有较好的适应性。丽水某台区投运该类装置之后，谐波电流总畸变率由原来的 47.80%降低到现在的 3.81%，三相电流不平衡率由原来的 29.21%降低到现在的

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.69%，功率因数由原来的 0.97 提高到现在的 1.00，说明多功能集成装置在空间受限、单一问题不突出的台区具有工程可行性。

3.3 分布式光伏接入台区反向重载与过电压治理

光伏反向重载是由于午间的发电功率大于台区负荷，潮流经配变高压侧反送造成的。治理路径有三条，从介入深度来看，依次为调整配变分接头位置来提高过电压裕度，但是该方法对于反向负载率本身没有改善作用；加装台区储能，在光伏高发时段吸收有功功率，崇明某台区储能投运后反向负载率下降 26.96 个百分点，最大负载率下降 10.68 个百分点；对光伏渗透率极高且线路走廊条件允许的村落，采用集中汇集后经专用变压器升压接入中压电网的方式，将分布式电源与公用低压台区的电气联系解耦。储能方案的容量配置要以典型日午间反向功率积分为依据，不能用配变容量比例来粗略估计，还要考虑到傍晚光伏退出之后的放电支撑，防止储能只起到单向吸收的作用。

过电压治理还要考虑并网逆变器的电压响应特性。部分逆变器在并网点电压接近上限的时候，仍然按照单位功率因数工作，不会主动吸收无功功率，从而加重了电压的升高。治理方案中对逆变器无功电压控制参数整定要求作出明确规定，在不增加一次设备的情况下释放出一定的电压调节能力。

3.4 供电质量指标验收与跟踪

验收不能只看改造竣工时的单次测量值。电压合格率、谐波畸变率有明显的时段性，应至少包含一个完整的季节的典型日曲线。反向负载率、三相不平衡度的验收要取改造后连续运行过程中出现的最大值，不能取平均值。表 1 给出了可以用来对改造验收过程进行跟踪的一组指标及其参考变化，网架标准化率、标准接线组线路比例用来评价网架结构优化的效果，10kV 配变重过载率用来反映设备升级改造的情况，台区谐波电流总畸变率、反向负载率降幅用来评价谐波治理和分布式光伏接入问题的治理效果，户均停电时间用来综合评价施工组织、负荷转供、停电管控等各方面的工作。

跟踪动或者策略过于保守，用投运首月的数据来作为验收结论，会掩盖实际运行中出现的问题。建议在改造后的第三个月和第六个月分别抽取指标，比较两次数据来判断治理效果是否稳定。

4 改造施工组织与停电管控

4.1 施工过渡方案与负荷转供路径

改造施工对供电质量的影响很大，主要是由于过渡方案设计不合理造成的，而不是施工工艺本身造成的。架空线路改造应先利用现有的联络通道进行负荷转供，转供前需要校核对侧馈线在转移负荷后负载率、末端电压及继电保护定值，防止转供操作引起对侧过流或者低电压问题[4]。电缆线路改造可以先敷设临时旁路电缆，把施工区段负荷全部转移到旁路回路上，再拆除旧电缆，在已有工程敷设 640m 旁路电缆的情况下完成施工区段负荷无缝转供。转供路径选择要考虑到分布式光伏的反向潮流，在午间进行转供操作的时候，对侧馈线的净负荷远小于它的表观负载率，这时候应当采用实时潮流而不是月度平均负载率来作为校核准则。

4.2 不停电作业与停电窗口压缩

停电窗口的压缩要按照作业类型分层匹配。设备更换类作业优先采用旁路作业法，利用旁路电缆或者旁路开关建立临时供电回路，在用户不停电的情况下完成旧设备的拆除和新设备的接入。陇南某线路带负荷更换柱上开关的作业中，旁路系统转移了后端 18 台配变、1500 余户的负荷，整条线路没有发生停电。对不能通过旁路转移的区段，采用中压发电车或者低压发电车给重要用户临时供电，使停电范围由原来的整条馈线缩小到发电车接入点以下的局部区段。

停电计划的安排应该由原来的按项目排停电改为按馈线排窗口。同一馈线上多个改造项目如果分别申请停电计划，时户数就会成倍地增加；将相邻区段的改造集中在同一个停电窗口内进行，则虽然单次作业强度增大，但是总的停电时户数明显减少。

表 1　改造验收跟踪指标示例

指标名称	改造前参照值	改造后目标值	对应改造环节
网架标准化率/%	87.9	≥95	2.1 网架标准化
标准接线组线路比例/%	61.41	≥90	2.1 联络优化
10kV 配变重过载率/%	1.23	≤0.35	2.2 设备升级
台区谐波电流总畸变率/%	47.80	≤5	3.2 谐波治理
台区反向负载率下降幅度/百分点	基准	≥20	3.3 光伏治理
户均停电时间/h	2.03	≤1.10	第 4 章施工管控

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

4.3 施工组织与用户告知

施工组织要考虑到一个容易被忽略的限制条件，即转供能力不是由联络开关的额定容量决定的，而是受对侧馈线转供时段实际负荷情况和电压裕度所制约的，因此负荷转供方案要和配网调度提前联合校核，在施工前一天根据短期负荷预测修正转供路径。用户告知的内容要包含停电起止时间的确定依据以及发电车接入的具体时段，不能只通告一个笼统的停电区间。对于需要多次短时停电的改造工作，应安排在负荷低谷时段，并采用零点作业的方式，减少商业、居民负荷叠加的影响。

4.4 改造效果复核与问题整改

施工完成后的复核要同时检查工程质量、运行指标。旁路系统拆除之后要核对相位和相序，发电车退出之后要确认原供电方式恢复后的电压暂态过程没有造成用户侧设备失压脱扣。运行指标上要检查转供操作是否真正落实，自动化开关在改造后第一次真实故障中是否按照预期动作[5]。对复核中出现的自动化动作失败或者储能策略过于保守的情况，在整改时不能直接更换设备，而应该对逻辑定值进行调整，不能把策略问题当作设备缺陷来处理。

5 结束语

城市配电网改造的可落地性，就是指诊断、治理、施工这三个环节之间的衔接是否准确。诊断环节要把联络率还原成可转供容量，把设备缺陷还原成结构性约束，把电能质量问题还原成负荷构成和频谱特征。治理环节的装置选型要以问题成因为基础，集成化装置适合于空间受限、多问题共存的台区，专项装置适合于单一问题突出的情况。施工环节的停电控制应该把转供校核从容量角度扩展到实时潮流和电压角度，旁路作业和发电车补偿的组合方式要按照作业类型而不是习惯来选择。

[参考文献]

[1]周宪,刘静涵.配电网网架差异化改造中的标准化策略与落地适应性评价[J].大众标准化,2026,12(14):7-9.

[2]许亚林,左帆,戴科星,等.新时期城市配电网目标网架规划与指标体系研究[J].电工技术,2025,12(11):299-301.

[3]白挺玮,于重,钟栗广,等.区域故障快速隔离下的自适应就地型馈线自动化模型[J].微型电脑应用,2025,41(4):110-114.

[4]邓林志,王兴,贾恒,等.基于多目标优化的配电网三相不平衡治理模型分析研究[J].电气技术与经济,2025,12(9):16-18.

[5]胡楠.配电网低电压现象的无功补偿治理方案[J].电子元器件与信息技术,2025,9(10):24-26.

作者简介：梁健全（1992—），男，汉族，广东佛山人，助理工程师，本科，毕业于佛山科学技术学院电气工程及其自动化专业，现从事供配电设计工作。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.