

低压配网台区电压改善潜力评估方法

欧阳森,耿红杰,杨家豪

(华南理工大学 电力学院 广东省绿色能源技术重点实验室,广东 广州 510640)

摘要: 针对目前低压配网台区的电压评估指标不完善和评估过程粗略的问题,提出了考虑沿线电压特性的电压评估指标及相应的电压改善潜力定量评估方法。简要分析现有的电压改善措施并提出电压指标改善率的概念,通过潮流计算获取指标改善率的数值。利用改进序关系算法确定各电压指标改善率权重,进而通过加权计算得到整个台区电压改善率用于评估台区电压改善潜力。算例分析结果表明,所提方法能有效地预先评估台区电压改善潜力。

关键词: 配电; 低压配网; 电压评估指标; 改善率; 改进序关系法; 电压改善潜力; 评估

中图分类号: TM 71

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.01.018

0 引言

在当前社会愈发重视用户侧电压质量背景下,电压合格率已成为电网的主要考核指标之一。低压配网台区(简称“台区”)作为电力系统中的末端环节,其电压过高或过低都严重影响着用户设备的安全运行^[1-3]。

针对台区的电压治理问题,供电部门可采取的措施有多种^[4-7],然而在实际工作中缺乏预先评估改善电压潜力措施的方法,导致如何选择合理措施没有一个衡量的标准,整个电压治理工作缺乏规划;另外,衡量台区质量的指标还不完善,导致潜力评估过程往往粗略。因此在改善电压过程中也暴露出设备利用率低、电压改善效果不佳、投资回收期长等问题。

文献[8]从电能质量角度出发建立多个电压评估指标,文献[9]提出区域电网电能质量动态评估方法;但上述文献更多研究的是如何对运行中的电网电压质量的优劣做出评价,而并不适用于对改造或者规划的电网电压改善潜力的评估。文献[10]提出了10 kV 馈线节能降耗潜力评估的思路和方法,但是没有涉及电压改善空间大小。文献[11-12]针对10 kV 及以上电压等级的配电网提出了电压改善潜力评估方法,但是由于电压等级高的配电网线路损耗电压且首末节点电压偏差均较小,所以往往采用1个或者2个电压指标即可衡量配电网电压分布情况。另外,还有一些文献提出节点电压合格率、线路损耗电压等指标,但是这些指标不能全面反映不合格节点电压是越上限还是越下限。台区与10 kV 及以上电压等级的配电网非常不一样,整体特点是节点

多、线路长、面积广,其沿线电压特性更是复杂。相邻节点之间的电压偏差很大,可达额定电压的20%~30%,整个台区负荷节点电压往往呈现急速下降或转折特性的趋势,且台区电压监测点配置少,较少指标无法全面衡量台区电压水平。

针对台区进行电压改善潜力评估,是实现台区规划和技术改造的理论基础和工程依据。本文拟以中后端电压明显偏低的台区(当前比较关注、也是最难治理的台区)作为研究对象。首先从台区面临的电压质量问题出发建立电压评估指标;然后提出电压指标改善率概念,并且采用改进序关系算法确定各电压指标改善率权重。本文模型可形成量化的计算结果,便于供电部门在确定台区结构后选择合理无功补偿方式、线路截面积等工作,为台区电压质量治理提供参考。

1 低压配网台区电压改善措施

台区电压质量好坏是多种因素综合作用的结果,改善电压措施包括无功补偿、逆调压、更换导线、调整线路结构及上述4种措施中几种的组合,限于篇幅,本文主要对前3种措施做简要分析。

a. 无功补偿。

常采用的无功补偿方式有:配变低压侧集中补偿;用户侧分散补偿,补偿点为电压偏低的节点;集中和分散结合补偿方式,补偿点为配变低压侧及电压明显偏低的节点。

b. 逆调压。

对于供电半径大、负荷较重、损耗占线损比例大的线路,可适当提高母线电压至10.7 kV左右;反之,对于轻载线路,可适当降低母线电压至10 kV左右。

c. 更换导线。

增大导线截面可以减小线路阻抗,使线路的电压损耗有效降低。采用此种方式需注意2个问题:一

收稿日期:2014-12-13;修回日期:2015-10-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51377060);国家自然科学基金青年基金资助项目(61104181)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51377060) and the National Natural Science Foundation for Young Scholars of China(61104181)

方面目前安装于台区的线路截面积是有限的,可选的范围不大;另一方面距离电源近的支路线径不能比距离电源远的支路节段线径小。

2 低压配网台区电压改善潜力评估

2.1 台区电压评估指标

本文从评估指标实用、可行和易获取的角度出发,构建的指标主要反映的问题有:台区节点电压合格率情况;电压不合格的节点中是否存在越上限情况;电压不合格的节点中是否存在越下限情况;台区主干线路后半段节点电压分布情况;线路损耗电压情况。本文提出的指标及具体描述如下。

a. 节点电压合格率。

节点电压合格率是指电压合格的节点数占台区总节点数的比例,该指标能够最直观地反映台区电压改善前后整体水平。根据我国相关技术导则规定,台区电压允许偏差值为额定电压的 $-10\% \sim 7\%$,如果某一负荷节点电压不在该范围内,则认为该节点电压不合格,计算公式如下:

$$X_1 = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

其中, n_1 为台区总节点数; n_2 为台区 n_1 个节点中电压合格的节点数。

b. 节点电压最大值。

台区节点电压最大值直观反映台区电压越上限的情况,计算公式如下:

$$X_2 = \max\{U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n\} \quad (2)$$

其中, U_i 为台区的第 i 个节点电压值; $X_2 > 1.07 U_N$ (U_N 为台区额定电压)则说明台区存在电压越上限问题。

c. 节点电压最小值。

节点电压最小值直观反映台区电压越下限的情况,计算公式如下:

$$X_3 = \min\{U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n\} \quad (3)$$

其中, $X_3 < 0.9 U_N$ 说明台区存在节点电压越下限问题。

d. 主干线路 2/3 处节点电压值。

由于台区后半段电压往往偏低,所以选择主干线路 2/3 处节点电压值反映离配变较远节点电压分布情况。

$$X_4 = U_{2/3} \quad (4)$$

其中, $U_{2/3}$ 为主干线路离配变 2/3 处节点电压值;若 $X_4 > 0.9 U_N$ 则说明台区绝大多数线路上节点电压是合格的,若 $X_4 < 0.9 U_N$ 则说明台区至少有 1/3 的线路上节点电压是越下限的。

e. 节点电压峰谷值。

线路损失电压是造成台区电压偏低的重要原因,本文采用台区首端电压与节点电压最小值的差值作为节点电压峰谷值,该指标反映台区线路损耗电

压大小,计算公式如下:

$$X_5 = U_{\max} - U_{\min} \quad (5)$$

其中, $U_{\max}$ 为台区中变比为 10 kV/0.4 kV 的变压器低压侧电压值即台区首端电压; $U_{\min}$ 为台区最小节点电压值。

2.2 台区电压改善率计算

本文提出台区电压指标改善率 U_{ij} 表征某种方案实施后电压指标改善情况,其大小为指标改善量与实施前该指标初始值 U_{j0} 之比,多个电压指标改善率加权求和即为台区电压改善率。

a. 电压指标改善率。

在提高台区中后段节点电压值过程中,部分方案可能使原来电压合格的节点变为越上限,此时指标改善率为负值,体现该措施改善电压存在不足。节点电压最大值、节点电压最小值、2/3 处节点电压指标改善率计算公式如下:

$$\Delta U_{ij} = \begin{cases} \frac{U_{ij} - U_{j0}}{U_{j0}} & U_{ij} \leq U_1, U_{j0} < U_2 \\ -\frac{U_{ij} - U_{j0}}{U_{j0}} & U_{ij} > U_1, U_2 < U_{j0} < U_1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

其中, U_{j0} 为台区初始状态下第 j 个指标值; U_{ij} 为在实施第 i 种方案后第 j 个指标值;对于额定电压为 380 V 的台区, U_1 可取为 406 V, U_2 可取为 380 V。

节点电压合格率和节点电压峰谷指标改善率计算公式如下:

$$\Delta U_{ij} = \frac{|U_{ij} - U_{j0}|}{U_{j0}} \quad (7)$$

b. 台区电压改善率。

由式(6)、(7)知,电压指标改善率为极大型指标,可对其进行直接加权求和得出台区电压改善率,视为电压改善潜力,计算公式如下:

$$\Delta U_i = \sum_{j=1}^m w_i \Delta U_{ij} \times 100\% \quad (8)$$

其中, m 为评价指标数; w_i 为第 i 个电压指标改善率权重,本文 2.3 节将详细介绍指标权重的计算方法;电压改善率 ΔU_i 形成了量化的标准, ΔU_i 值越大表明第 i 种方案改善电压的潜力越大。

2.3 改进序关系法确定指标权重

改进序关系法是一种主客观相结合确定指标权重的方法^[13-14],它一方面能充分体现专家意愿,另一方面能够考虑指标数值自身特点。具体步骤如下。

(1) 指标平移。

设有 n 个被评估对象, m 个评价指标,其原始观测数据为 $\{x_{ij}\}$,其中 $x_{ij} \geq 0$ 。

本文提出的节点电压最大值、节点电压最小值、2/3 处节点电压指标改善率为 $[-1, 1]$ 之间的数据,通过平移变为正数,平移计算公式如下:

$$x'_{ij}=\frac{x_{ij}-(-1)}{2} \tag{9}$$

(2)指标预处理。

经过平移后电压指标改善率均为极大型指标,预处理计算公式如下:

$$x^*_{ij}=\frac{x'_{ij}-m_j}{M_j-m_j} \tag{10}$$

其中, $M_j=\max\{x'_{ij}\}$ 、 $m_j=\min\{x'_{ij}\}$ 分别为第 j 个指标在 n 个评估对象中的最大值和最小值。

(3)根据专家意见确定指标贡献率大小,为不失一般性,记贡献率序关系为 $c_1>c_2>\cdots>c_m$ 。

(4)给出 c_{k-1} 和 c_k 间相对贡献程度之比的理性判断指标。设指标贡献程度之比的理性判断指标为:

$$r_k=\frac{c_{k-1}}{c_k} \quad k=2,3,\cdots,m \tag{11}$$

根据文献[13-14], r_k 的选择可遵循如下原则:

- a. 专家给出的贡献率 $c_{k-1}=c_k$ 时, $r_k=1$;
- b. 专家给出的贡献率 $c_{k-1}\neq c_k$ 时, r_k 的取值参考表 1,其中 σ_k 为第 k 个指标的标准差。

表 1 r_k 及对应的描述
Table 1 Value and description of r_k

σ_{k-1}/σ_k	r_k	说明
$(-\infty,1]$	1.0	c_{k-1} 与 c_k 具有相同贡献程度
$(1,1.2]$	1.2	c_{k-1} 相比 c_k 贡献程度稍大
$(1.2,1.4]$	1.4	c_{k-1} 相比 c_k 贡献程度明显地大
$(1.4,1.6]$	1.6	c_{k-1} 相比 c_k 贡献程度强烈地大
$(1.6,+\infty)$	1.8	c_{k-1} 相比 c_k 贡献程度绝对地大

(5)建立贡献率 c_k 的求解模型。

目标函数和约束条件如下:

$$\begin{aligned} \max \quad & f=\sum_{k=2}^m(c_{k-1}-c_k)=c_1-c_m \\ \text{s.t.} \quad & c_{k-1}-c_k r_k \leq 0 \quad k=2,3,\cdots,m \\ & c_k-c_{k-1} \leq 0 \quad k=2,3,\cdots,m \\ & c_1-1.8c_m \leq 0 \\ & \sum_{k=1}^m c_k=1 \end{aligned} \tag{12}$$

求解上述规划问题最优解可求得各指标贡献率

$c_k(k=1,2,\cdots,m)$ 。
(6)计算电压指标改善率权重系数 w_k :

$$w_{k-1}=w_k\frac{l_k c_{k-1}}{c_k l_{k-1}} \quad k=2,3,\cdots,m \tag{13}$$

$$w_m=\left(1+\frac{l_m}{c_m}\sum_{k=2}^m\frac{c_{k-1}}{l_{k-1}}\right)^{-1} \tag{14}$$

$$l_j=\sum_{i=1}^n x^*_{ij} \quad j=1,2,\cdots,m \tag{15}$$

3 算例分析

3.1 算例模型及计算结果

本文以某供电局的某个台区为例,图 1 是其网络结构图,各元件参数如下。

a. 各输电线路的型号、长度和截面积如图 1 所示(如 BVV-4×50/100 表示线路为 4 根铜芯导线,长度为 100 m,截面积为 50 mm²,其他类似),由于 BVV 型号导线为铜线,故取电阻率为 $\rho=0.0175\ \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$,并结合各段线路长度和截面积,即可计算得到各段线路电阻,并根据低压配网特点假定线路的电抗为电阻的 1/5。

b. 各负荷节点有功功率由电量估算得到,并以功率因数 0.85 估算无功功率值。

c. 采用牛顿-拉夫逊潮流程序获取初始节点电压值,节点 15 为平衡节点,电压幅值为 10.3 kV,相角为 0°。

表 2 是台区节点功率及初始节点电压值,其中, P_L 、 Q_L 分别为台区节点有功、无功功率。

台区电压改善方案很多,限于篇幅本文选几种常用方案作为例子,见表 3。各方案进行如下说明。

a. 方案 1 集中补偿点为配变低压侧,方案 2 分散补偿点为电压偏低的节点 8、9、10、11、12、13,方案 3 集中补偿点为配变低压侧,分散补偿点为电压明显偏低的节点 11、12、13。

b. 根据相关导则知 10 kV 以下电压等级的配电网无功补偿总容量可为配变容量的 20%~40%,在

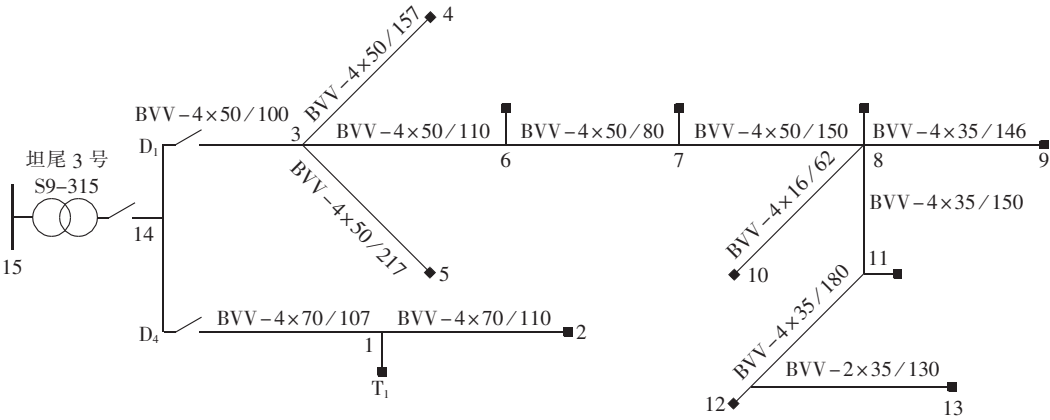


图 1 某台区网络结构图
Fig.1 Structure of a distribution network region

表 2 台区节点功率及初始节点电压值

Table 2 Power and initial voltage of regional nodes

节点	P_L/kW	Q_L/kvar	初始节点电压值/V
1	20.467	12.690	396.910
2	30.849	19.126	394.492
3	10.000	6.200	381.123
4	15.585	9.663	378.579
5	6.560	4.067	379.647
6	21.931	13.597	363.231
7	21.886	13.569	352.174
8	20.417	12.659	335.199
9	15.731	9.753	331.246
10	15.421	9.561	331.652
11	15.821	9.809	324.119
12	14.858	9.212	315.805
13	10.952	6.790	313.249
14	0	0	400.816

表 3 电压改善方案

Table 3 Schemes of voltage improvement

方案	方案描述
1 集中补偿	节点 14 补偿无功 126 kvar
2 单独分散补偿	节点 8、9、10、11、12、13 分别补偿 19、21、15、12、9、7 kvar
3 集中和分散结合补偿	节点 14、11、12、13 分别补偿 69、35、12、10 kvar
4 逆调压	母线电压由 10.3 kV 调至 10.5 kV
5 更换导线	将节点 13、14 之间的主干线路截面积更换为 70 mm ²
6 逆调压+分散补偿	母线电压由 10.3 kV 调至 10.5 kV 并且节点 11、12、13 分别补偿无功容量 35、12、10 kvar
7 更换导线+分散补偿	更换导线与方案 5 相同,同时在节点 11、12、13 分别补偿无功容量 35、12、10 kvar
8 逆调压+更换导线	母线电压由 10.3 kV 调至 10.5 kV,同时更换导线与方案 5 相同

该容量范围内,方案 1、2、3 的补偿容量以网损最小为目标函数优化获取。

c. 方案 4 根据台区实际运行情况适当提高母线电压至 10.5 kV。

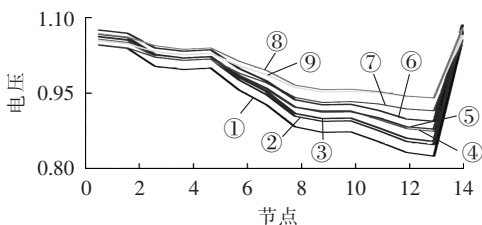
d. 考虑资金问题,方案 5 主要更换主干线路导线截面积,将主干导线更换为 BVV-70 时,台区所有节点电压基本都合格,按照经济电流截面选取导则,选择 BVV-70 即可。

e. 方案 6、7 中分散补偿点仍为电压明显偏低的节点 11、12、13,补偿容量和方案 3 相同。

图 2 是实施表 3 中 8 种方案前后的节点电压分布情况(图中电压为标么值),从图中可以看出台区电压分布复杂,属于典型“首高末低”型台区,采用不同方案后,节点电压分布曲线变化趋势不一样,只从电压曲线变化上很难分辨出哪种方案改善电压效果好。

表 4 是依托潮流程序计算出的初始状态及实施 8 种方案后各电压指值,可以看出:

a. 方案 5 和方案 7 的节点电压合格率均达到 1,不存在越上下限的问题;



① 初始状态, ② 集中补偿, ③ 逆调压, ④ 分散补偿
⑤ 集中和分散结合补偿, ⑥ 逆调压+分散补偿, ⑦ 更换导线
⑧ 逆调压+更换导线, ⑨ 更换导线+分散补偿

图 2 不同方案下的台区电压分布情况

Fig.2 Regional voltage distribution for different schemes

表 4 不同方案的电压指标值

Table 4 Values of voltage index for different schemes

方案	X_1	X_2/V	X_3/V	X_4/V	X_5/V
电压改善前	0.571	400.816	313.249	323.657	87.568
1	0.571	407.268	321.859	331.990	85.409
2	0.786	405.352	331.931	340.656	73.421
3	0.786	407.482	333.480	341.758	74.002
4	0.571	409.101	324.282	334.337	84.819
5	1.000	401.175	347.671	352.365	53.504
6	0.714	412.187	339.399	347.533	72.788
7	1.000	404.239	357.424	361.287	46.815
8	0.929	409.426	357.313	361.880	52.112

b. 方案 1、2、4、6、8 均使得台区节点电压越上限和越下限;

c. 方案 3 仅靠无功分散补偿节点电压不会越上限,但是仍然存在节点电压越下限的问题;

d. 方案 5—8 的 2/3 节点电压值大于 342 V,说明这些方案能够使台区大多数线路上节点电压达到合格范围。

表 5 是根据表 4 中数据及式(6)、(7)计算出各方案实施后电压指标改善情况,可以看出:

a. 与集中补偿和调压有关的方案节点电压最大值指标改善率均为负值,说明这 2 种改善措施很容易使得节点电压越上限;

b. 方案 2 和 3、方案 5 和 7 节点电压合格率指标改善率相同,所以仅根据节点电压合格率 1 个指标无法反映电压改善的好坏,需要综合考虑多个指标。

根据表 5 中的结果及式(9)—(15)确定 5 个电压指标改善率权重。改善电压首要目的是提高节点

表 5 不同方案的电压指标改善率数据

Table 5 Values of voltage index improvement rate for different schemes

方案	ΔX_1	ΔX_2	ΔX_3	ΔX_4	ΔX_5
1	0	-0.016	0.027	0.026	0.025
2	0.377	0	0.060	0.053	0.162
3	0.377	-0.017	0.065	0.056	0.155
4	0	-0.021	0.035	0.033	0.031
5	0.751	0	0.110	0.089	0.389
6	0.250	-0.028	0.083	0.074	0.169
7	0.751	0	0.141	0.116	0.465
8	0.627	-0.021	0.141	0.118	0.405

电压合格率,所以该指标最重要;其次,改善电压要同时防止过改善和欠改善即注重节点电压越上下限,所以节点电压最大值和节点电压最小值 2 个指标同等重要;主干线路 2/3 处节点电压值反映了部分节点越限情况,该指标不越限,只能说明台区绝大多数线路上节点电压不越限,该指标重要性仅次于节点电压最小指标;节点电压峰谷值只反映线路损耗电压大小,不能直接反映各个节点电压越限情况,所以该指标与其他指标相比,重要性最弱。

根据上述分析本文提出的 5 个指标改善率的贡献率关系可设为 $c_{X1}>c_{X2}=c_{X3}>c_{X4}>c_{X5}$,算例中各指标标准差分别为 0.3985、0.3892、0.3900、0.4029、0.3805,则 r_k 依次为 1.2、1、1、1.2,故电压指标改善率 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 的权重分别为 0.219、0.204、0.217、0.190、0.170。

由表 5 中数据、电压指标改善率权重及式(8)可计算各种方案电压改善潜力如表 6 所示。表中 ΔU_i 越大表示电压改善潜力越大, $\Delta U_i/W$ 越大表示单位成本内电压改善潜力越大即电压改善的性价比越好。另外,对各种方案的投资成本进行了计算,其中无功补偿装置单价为 80 元/kvar,安装盒为 2 500 元/个,BVV-70 导线成本为 64 元/m。

表 6 不同方案下的台区电压改善潜力
Table 6 Regional voltage improvement potential of different schemes

方案	投资成本 W /万元	$\Delta U_i/\%$	$\frac{\Delta U_i}{W}/\%$
1	1.26	1.14	0.90
2	2.16	13.10	6.06
3	2.01	12.79	6.36
4	—	1.46	—
5	5.76	26.63	4.62
6	1.21	10.77	8.90
7	6.97	29.05	4.17
8	5.76	24.95	4.33

3.2 计算结果分析

从表 6 中结果可以得出以下结论。

a. 各方案改善电压潜力排序如下:更换导线+分散补偿>更换导线>逆调压+更换导线>单独分散补偿>集中和分散结合补偿>逆调压+分散补偿>逆调压>集中补偿。

b. 除方案 4 外,各方案改善电压性价比排序为:逆调压+分散补偿>集中和分散结合补偿>单独分散补偿>更换导线>逆调压+更换导线>更换导线+分散补偿>集中补偿。

c. 对于所研究台区单独采用集中补偿和逆调压的方案电压改善潜力很小且电压改善性价比不高。

d. 单独的分散无功补偿,补偿点多,电压改善潜力中等,但是成本较高,电压改善性价比中等。

e. 分散补偿与其他成本低的改善措施结合,如集中补偿、逆调压,可以适当减少无功补偿点,相应成本降低且电压改善性价比提高,但是电压改善潜力会有所降低。

f. 更换导线改善电压潜力最大,但是更换导线成本很大,更换导线性价比比无功补偿性价比低。

g. 对于本文 8 种方案,只考虑电压改善潜力时,优先推荐更换导线和分散补偿结合方案;只考虑成本时,优先推荐逆调压和无功分散补偿结合方案;既考虑电压改善潜力又考虑成本时,推荐采用更换导线或者单独的无功分散补偿。

4 结论

a. 本文提出了考虑沿线电压特性的评估指标及相应的电压改善潜力定量评估方法,能够有效对台区电压改善潜力进行预先量化评估,克服传统 1 个或 2 个指标不能全面衡量台区电压质量优劣及潜力评估过程粗略的问题。

b. 本文提出电压指标改善率概念,直观地说明了各电压指标改善幅度及电压指标改善方向,并且采用改进序关系算法确定指标权重,该方法综合兼顾专家意见及指标数据自身特点。

c. 从本文算例 8 种方案可以看出,对于中后段电压偏低的台区,只考虑电压改善潜力时,优先推荐更换导线和分散补偿结合方案;只考虑成本时,优先推荐逆调压和无功分散补偿结合方案;既考虑电压改善潜力又考虑成本时,推荐采用更换导线或者单独的无功分散补偿。

d. 改善台区供电质量是一个极其复杂的问题,本文中给出的分析思路和流程具有一定的通用性,对台区改造及规划有一定的指导意义。

参考文献:

[1] 贾秀芳,赵霞. 电力市场环境下的电压质量的综合评价指标[J]. 电网技术,2007,31(11):59-68.
JIA Xiufang,ZHAO Xia. Synthesis evaluating index of voltage quality in electricity market environment[J]. Power System Technology,2007,31(11):59-68.
[2] 石嘉川,刘玉田. 计及分布式发电的配电网多目标电压优化控制[J]. 电力系统自动化,2007,31(13):47-51.
SHI Jiachuan,LIU Yutian. Multi-objective voltage control in distribution networks with distributed generation[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,13(13):47-51.
[3] 余卫国,熊幼京,周新风,等. 电力网技术线损分析及降损对策[J]. 电网技术,2006,30(18):54-63.
YU Weiguo,XIONG Youjing,ZHOU Xinfeng,et al. Analysis on technical line losses of power grids and counter measures to reduce line losses[J]. Power System Technology,2006,30(18):54-63.
[4] 张勇军,石辉,许亮. 配电网节能潜力评估系统开发方案[J]. 电

- 力系统自动化,2011,35(2):51-55.
- ZHANG Yongjun,SHI Hui,XU Liang. Systematic developing program of distribution network energy saving potential evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(2):51-55.
- [5] 曹淑娟,王春波,王福忠. “分散无功补偿”在农网中的应用及节能分析[J]. 河南理工大学学报,2005,24(5):378-380.
- CAO Shujuan,WANG Chunbo,WANG Fuzhong. Application of “distributed var-power compensation” in rural power network and analysis of energy conservation[J]. Journal of Henan Polytechnic University,2005,24(5):378-380.
- [6] MEKHAMER S F,SOLIMAN S A,MOUSTAFA M A,et al. Application of fuzzy logic for reactive-power compensation of radial distribution feeders[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2003,18(1):206-213.
- [7] 卢秋艳,金黎,李庆宇. 电压自动调节技术[J]. 电工技术,2003(8):6-8.
- LU Qiuyan,JIN Li,LI Qingyu. Automatic voltage regulation technology[J]. Electric Engineering,2003(8):6-8.
- [8] 付学谦,陈皓勇. 基于加权秩和比法的电能质量综合评估[J]. 电力自动化设备,2015,35(1):128-132.
- FU Xueqian,CHEN Haoyong. Comprehensive power quality evaluation based on weighted rank sum ration method [J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(1):128-132.
- [9] 欧阳森,石怡理,刘洋. 基于双激励控制线的区域电网电能质量动态综合评价方法[J]. 电网技术,2012,36(12):205-210.
- OUYANG Sen,SHI Yili,LIU Yang. Dynamic comprehensive evaluation of power quality for regional grid based on double inspiring control lines[J]. Power System Technology,2012,36(12):205-210.
- [10] 李鹏,张勇军,谭伟聪,等. 长安配网节能降耗潜力评估研究[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(14):97-104.
- LI Peng,ZHANG Yongjun,TAN Weicong,et al. Study on energy saving potential assessment for Changan distribution network[J]. Power System Protection and Control,2009,37(14):97-104.
- [11] 段建东,杨杉. 基于改进差分进化法的含双馈型风电场的配电网无功优化[J]. 电力自动化设备,2013,33(11):123-133.
- DUAN Jiandong,YANG Shan. Reactive power optimization based on modified differential evolution algorithm for power distribution system with DFIG wind farms[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(11):123-133.
- [12] 白先红,张勇军,陈艳,等. 配电网电压改善潜力的静态评估与应用[J]. 现代电力,2014,31(3):29-32.
- BAI Xianhong,ZHANG Yongjun,CHEN Yan,et al. Static assessment of voltage improving potential and its application to distribution systems[J]. Modern Electric Power,2014,31(3):29-32.
- [13] 郭亚军. 综合评价理论、方法及拓展[M]. 北京:科学出版社,2012:62-70.
- [14] 陈午,许新宜,王红瑞,等. 基于改进序关系法的北京市水资源可持续利用评价[J]. 自然资源学报,2015,30(1):164-176.
- CHEN Wu,XU Xinyi,WANG Hongrui,et al. The evaluation of water resources sustainable utilization in Beijing based on improved rank correlation analysis[J]. Journal of Natural Resources,2015,30(1):164-176.

作者简介:



欧阳森

欧阳森(1974—),男,广州钦州人,副教授,博士,主要研究方向为电能质量、节能技术与智能电器(E-mail:ouyangs@scut.edu.cn);

耿红杰(1989—),女,湖北黄冈人,硕士研究生,主要研究方向为电能质量分析与控制(E-mail:1052156466@qq.com);

杨家豪(1990—),男,福建厦门人,硕士研究生,主要研究方向为电能质量分析与控制(E-mail:yangjiahao1990@foxmail.com)。

Evaluation of regional voltage improvement potential for low-voltage distribution network

OUYANG Sen,GENG Hongjie,YANG Jiahao

(Key Laboratory of Clean Energy Technology of Guangdong Province,School of Electric Power, South China University of Technology,Guangzhou 510640,China)

Abstract: Aiming at the imperfect evaluation index and rough evaluation procedures,a voltage evaluation index considering the voltage characteristic along line and a quantitative evaluation method of regional voltage improvement potential are proposed for the low-voltage distribution network. The existing voltage improvement measures are briefly analyzed,the concept of voltage index improvement rate is introduced, and the way to obtain the rate by power flow calculation is proposed. The improved rank correlation method is applied to determine the improvement rate weights of different voltage evaluation points along line and the weighted calculation is then applied to get the regional improvement rate,which is used to evaluate the voltage improvement potential of whole low-voltage distribution network region. The results of case calculation show that the proposed method can effectively evaluate the regional voltage improvement potential of low-voltage distribution network.

Key words: electric power distribution; low-voltage distribution network; voltage evaluation index; improvement rate; improved rank correlation method; voltage improvement potential; evaluation