

基于 LCC 的配电网供电电压质量改善措施的优化

杨金涛,乐 健,刘开培,刘 阳,张广怡

(武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要: 考虑负荷的波动性,利用前推回代法进行配电网潮流计算,对配电网各负荷点供电电压偏差进行计算评估;利用隐马尔科夫方法对配电网供电可靠率进行计算。提出了提高供电可靠性和减少供电电压偏差的治理措施并进行技术性评估。基于全寿命周期成本分析法,对技术可行的改善措施进行了经济性比较,最终得出优化的改善方案。最后以某配电网为算例说明了所提出方法的具体实现过程,并验证了其有效性。

关键词: 配电; 供电质量; 电能质量; 全寿命周期成本; 供电可靠性; 电压偏差; 优化

中图分类号: TM 72

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.08.009

0 引言

供电质量主要包括供电可靠性和电能质量 2 个范畴^[1]。衡量供电可靠性的指标主要可分为 4 类:频率指标,如平均故障次数等;概率指标,如可用度等;时间指标,如平均故障时间、平均修复时间等;期望值,如发生故障天数的期望值等。供电电压电能质量问题包括电压偏差、电压波动与闪变、电压畸变率、电压不平衡和频率偏差等^[2]。目前我国城市和农村配电网中最为关注和存在问题最大的是供电电压偏差^[3]。

目前国家针对城市配电网和农村配电网的供电可靠性和供电电压质量均制定了相应的国家标准,提出了相应的指标要求^[4-5]。供电部门也采取了很多措施以提高城市和农村配电网的供电可靠性和供电电压质量,自 1998 年起我国在全国范围内实施了 2 次大的配电网改造,一定程度上提高了这些区域的供电质量。但目前配电网尤其是农村电网仍存在供电质量差、供电可靠性低、运行和维修费用高等突出问题^[6],主要的原因有 2 个。

a. 对配电网供电电压偏差的状况缺乏全面、客观的了解,缺乏准确可靠和实用性强的分析评估手段。仅依靠用户投诉来判断供电电压偏差超标情况的发生,少数情况下通过现场测量来了解某个负荷点的实时电压偏差,无法获知配电网各馈线上负荷点电压偏差的大小及变化规律。在制定治理措施时存在盲目性和不合理性,无法对治理措施的效果进行分析评估。

b. 在制定供电质量改善措施时未能综合考虑措施的技术可行性和经济性。一些方法仅从治理措施的技术层面进行评估,忽略了其经济性约束^[7]。另一些考虑经济性约束的方法仅考虑一次性投资成本,

未能从全寿命周期成本 LCC (Life-Cycle Cost) 角度进行评估,在评估这些措施的效果时考虑因素不全面,所得结果准确性、客观性较差^[8]。

LCC 是一种具有全局性和系统性的理念,可对设备或系统在整个寿命周期中各项费用的构成及其影响因素作出全面系统的分析,为成本或费用决策提供依据。国外的实践表明,使用 LCC 理论可实现对电力系统中的元件如机组、线路、变压器和断路器等的全寿命周期分析,计及设计、制造、维修、运行和退役清理等成本,实现对设备在整个寿命周期中各项费用的构成及其影响因素全面系统的分析,提高资金使用效率^[9-12]。

本文对改善配电网供电质量的措施的优化方法进行了研究,给出了优化方法的原理和实现步骤;分别基于前推回代法和隐马尔科夫法,对配电网各负荷点供电电压偏差和供电可靠性进行了全面的分析评估;以某具体配电网为对象,对现有的配电网提高供电可靠性和改善供电电压偏差的治理措施的技术可行性进行了评估;基于 LCC 分析法,对技术可行的改善措施进行了经济性比较,得出优化的改善方案。

1 供电质量改善措施优化方法的实现

1.1 实现步骤

供电质量改善措施优化方法的实现主要包括如下步骤。

① 收集目标配电网基础数据,包括各条馈线配变容量及所接负荷类型、各段馈线长度及型号、馈线供电主变容量及其参数、变压器档位等。

② 进行初始供电可靠性和供电电压偏差评估,根据评估结果分 3 种情况进行处理:

a. 同时满足这 2 项要求的馈线无需制定改善措施;

b. 对不满足供电可靠性或供电电压偏差要求的馈线,则只需应用改善措施进行相应的再次评估,满足要求的则保留为备选改善措施,否则放弃;

收稿日期:2014-08-25;修回日期:2015-02-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51007065)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51007065)

c. 对供电可靠性和供电电压偏差要求均不满足的馈线,应用改善措施后再次分别进行供电可靠性和供电电压偏差评估,如果该改善措施能同时满足这 2 项要求,则保留为备选改善措施,否则放弃。

③ 建立备选改善措施的费用分解模型,计算其 LCC:

a. 对不满足供电可靠性或供电电压偏差要求的馈线,只需比较备选改善措施的 LCC,LCC 小的即为优化方案;

b. 对供电可靠性和供电电压偏差要求均不满足的馈线,则需要重新制定措施。

1.2 配电网供电电压偏差评估

由于 LCC 考虑了设备的寿命周期,配电网供电电压偏差评估也需要考虑时间周期,因此电压偏差评估不仅需要考虑负荷波动性的影响,还需要计及负载率随时间的变化。

配变负载率可根据各馈线往年负载率情况进行预测:

$$S_{n,\max}=S_{n,N}\gamma_{n,\max}$$

其中, $S_{n,N}$ 为该馈线截止第 n 年的配变总容量; $\gamma_{n,\max}$ 为该馈线第 n 年的最大负载率; $S_{n,\max}$ 为该馈线第 n 年的最大负载。

根据负荷增长预测,可计算得出第 $n+k$ 年的某馈线最大负载:

$$S_{n+k,\max}=S_{n,\max}(1+\eta_{\text{avg}})^k$$

其中, $S_{n+k,\max}$ 为该馈线第 $n+k$ 年的最大负载; η_{avg} 为该地区年平均负荷增长率。

结合线损率即可计算出该馈线配变最大负载之和:

$$S_{n+k,\text{Totex}}=S_{n+k,\max}(1-\beta)$$

其中, $S_{n+k,\text{Totex}}$ 为该馈线第 $n+k$ 年配变的最大负载之和; β 为 10 kV 馈线的平均线损率。

同时还需要根据电网发展规划,对未来几年内配变的最大负载率进行预测,以评估未来可能出现的供电电压偏差的情况。其原理为保持现有网络结构和变压器安装情况不变,根据对负荷增长率的预测值进行计算。

在得到某馈线各类配变最大负载的条件下,还需要设置负载的概率变化模型,进而求解各配变 10 kV 侧电压偏差变化的概率分布。

在进行电压偏差评估时需要考虑负荷接入的时变性。由于多数馈线上的负荷数目众多,且存在几种不同类型,若负载概率分布模型设置复杂,则仿真计算过程也非常复杂,同时难以分析得出结果的变化规律。本文按如下原理考虑配变负载的波动性。

将某一天区分为工作日和节假日;将工作日全天时间划分为白天时段 07:00—17:00、晚上时段

17:00—22:00 和夜间时段 22:00 至次日 07:00,将节假日全天时间划分为正常活动时段 07:00—22:00 和夜间时段 22:00 至次日 07:00。

根据负荷波动性将负荷划分为:恒定性负荷,如电信基站等,其功率在全部时间段内保持为最大功率不变;半波动性负荷,如民用负荷、市政负荷、工厂负荷等,认为其功率在不同时间段内波动,且波动范围不同;全波动性负荷,如路灯负荷等,认为其功率在工作时间内为 100%,在非工作时间内为 0。表 1 给出了全部时段不同性质负荷的设置。

表 1 负荷波动性
Table 1 Load fluctuation

时段	全波动性负荷	半波动性负荷			恒定性负荷	
		工厂	市政	民用		
工作日	白天	0	70%~100%	70%~100%	30%~70%	100%
	晚上	100%	30%~70%	30%~70%	70%~100%	100%
	夜间	100%	0~30%	0~30%	0~30%	100%
节假日	正常活动	0	0~50%	0~50%	30%~100%	100%
	夜间	100%	0~30%	0~30%	0~30%	100%

对于半波动性负荷,需要在各时段内的波动范围内设置随机分布,以模拟负荷的波动性。本文将半波动性负荷在其波动范围内划分为 10 个等距区间,负荷处于哪个区间则采用等概率分布模拟。

根据上述各种负荷的波动性设置和对未来几年的馈线负载率的预测,通过潮流计算可以得到各负荷点的实际电压,经过计算可以得到电压偏差评估结果。

1.3 配电网供电可靠性计算

规划配电网的网络规模比较庞大,故障模式影响分析法是计算典型接线模式供电可靠性的最为实用的方法。

根据计算经验,线路的可靠率和截面积的关系如表 2 所示。

表 2 导线截面积与可靠率关系
Table 2 Relation between conductor sectional area and reliability

截面积/mm ²	可靠率	截面积/mm ²	可靠率
35	0.999 1	120	0.999 5
50	0.999 2	150	0.999 6
70	0.999 3	185	0.999 7
95	0.999 4	240	0.999 8

此外,根据国家电网的统计数据可知:10 kV 馈线上开关的可靠率为 0.9992,公用变压器的可靠率为 0.9993,专用变压器的可靠率为 0.9994。

根据上述数据和 10 kV 馈线的基础数据,可计算出供电可靠率(RS-1、RS-2、RS-3,单位为 h/户,下文略)、用户平均停电时间(AIHC-1、AIHC-2、AIHC-3)等指标。指标缩写中,1、2、3 分别表示计入外部影响、不计外部影响、不计电源不足限电的统

计结果。

供电可靠率:在统计期间内,对用户有效供电时间总小时数与统计期间小时数的比值。

$$\text{供电可靠率} = \left(1 - \frac{\text{用户平均停电时间}}{\text{统计期间时间}}\right) \times 100\%$$

$$\text{用户平均停电时间} = \frac{\sum \text{用户每次停电时间}}{\text{总用户数}}$$

2 改善措施及其技术可行性分析

目前常用的配电网供电电压偏差改善措施主要有以下几种。

a. 无功补偿技术,可采用同步调相机、无功补偿电容器、无功补偿电抗器、静止无功补偿器(SVC)和静止无功发生器(SVG)。

并联电容器和并联电抗器适用于负载变化慢、补偿性能要求不高的场合。只有当系统无功发生变化时,控制器根据其变化量来控制电容器或者电抗器的投切。SVC 和 SVG 都是动态无功补偿装置,补偿的跟随性能好,可以实现一个正弦波周期内作出响应,不但可以补偿感性无功,而且还可以补偿容性无功,但其投资很高。

b. 在电力输配电系统中,导线截面的选择关系到输配电系统能否安全、可靠、经济、合理地运行。导线截面选择过小,将会导致线路电能、电压损耗增加,降低机械强度与绝缘水平,使故障率上升。导线截面过大,将会导致原材料浪费,增加有色金属的损耗,增大初始投资,增加施工强度、难度以及维护检修费用等。因此,在电力输配电系统中,正确选择导线截面具有十分重要的意义。

c. 串联电压补偿技术,包括加装不间断电源(UPS)装置、稳压装置和动态电压恢复器(DVR),该方式可靠性高,响应速度快,但价格较为昂贵,适用于有特殊需求的场合。

d. 调整变压器分接头,该方法投入最小,但一般难以满足不同时刻对供电电压的需求。

e. 缩短供电半径,此方式对改善供电电压偏差最为直接有效,但无论是从已有的电源重新铺线还是新增电源点方面而言,投资都很巨大。

提高供电可靠性的方法与措施主要有以下几种。

a. 加强配电网规划和改造优化配电网结构。

网架结构是影响配电网供电可靠性的重要因素,坚强的配电网是保证对用户可靠供电的物质基础与必要手段。提高供电可靠性是一个系统工程,应从电网的规划、设计以及对现有配电网的优化改造入手。

b. 实施状态检修和带电作业,缩短停电时间。

计划检修安排不合理会造成系统可靠性指标偏

低,在某些情况下计划检修对配电网可靠性的影响大于故障的影响。因此,采取更科学合理的检修手段对提高配电网可靠性有很大帮助。

c. 降低故障率的技术措施,包括选择合理的中性点接地方式,提高配电网绝缘水平,防止外力破坏导致的停电事故,建立配电网综合自动化系统。

d. 改进和完善供电指标评价体系。

随着电力企业现代化管理工作的不断发展和深化,供电可靠性指标在生产管理工作中所占位置越来越重要。由于我国的可靠性统计指标都是在历史统计数据的基础上经过简单计算得到的,即对系统输配电设备以及各电压等级用户的历史可靠性状况进行分析和评价,因而有必要制定预测规划系统可靠性水平的规范化方法和指标。推广概率可靠性评估方法,可以较为全面地预测出各种威胁电力设备和电网安全稳定运行的隐患,提高电网投资的经济效益。

e. 加强配电网管理工作,提高可靠性水平。

供电企业员工技术水平不高、责任心不够等人为原因造成的事故依然存在,因此,建立完善的供电可靠性管理体系,加强配电网管理的基础工作对供电可靠性的提高有很大意义。

在本文的研究中,主要从加强配电网规划和改造优化配电网结构方面来提高 10 kV 线路的供电可靠性,其中重点考虑了增大馈线主干线的导线截面方法。

3 基于 LCC 的改善措施优化

LCC 包含电力设备或系统从设计到退役的整个期间需要的费用总和,包括一次投资成本、运行损耗成本、运行维护成本、退役成本 4 个方面。

3.1 一次投资成本

一次投资成本包括各种设备(主要有配电变压器、导线、电杆及配件)的购买与安装费用。

$$C_1 = \sum_{i=1}^n (C_T(i)P_T(i)A_T(i)D_T(i)) + \sum_{j=1}^m (C_P(j)P_P(j)A_P(j)D_P(j)) + \sum_{k=1}^h (C_L(k)P_L(k)A_L(k)D_L(k)) \quad (4)$$

其中,下标 T、P 和 L 分别代表配电变压器、电杆以及裸导线/绝缘导线;C 对于变压器代表新增的或者更换的变压器的容量,对于电杆代表其数量,对于导线代表其长度;P 为设备单价;A 为该对象附件需要在原值上增加的百分比;D 为施工难度系数,主要与地形或者所处区域特征有关,如城市或者农村,平原还是山区;n、m 和 h 分别为配电变压器、电杆及导线的数量。

考虑到一次投资成本在投资初期,根据资金的时间价值,将其转化为设备投资的等年值:

$$C_{le} = \frac{C_l(1+\lambda_c)^N \lambda_c}{(1+\lambda_c)^N - 1} \quad (5)$$

其中, λ_c 为贴现率; N 为设备使用寿命,单位为 a。

3.2 运行损耗成本

运行损耗对于配电网而言主要是线损^[14]。本文基于潮流进行网损分析及快速计算^[15-16],其具体原理为:当采用直角坐标时,依据潮流方程,某一时刻的线损功率一定能表达成电力系统状态变量(用 $\mathbf{x}$ 表示,是电压实部和虚部构成的列向量)的二次型。对应某一潮流状态 $\mathbf{x}^0$,线损功率可精确表达为:

$$P_{loss}(\mathbf{z}) = \boldsymbol{\beta}^T(\mathbf{x}^0) \mathbf{z} + \frac{1}{2} \Delta \mathbf{x}^T \mathbf{E}(\mathbf{x}^0) \Delta \mathbf{x} \quad (6)$$

$$\boldsymbol{\beta}^T(\mathbf{x}^0) = \left. \frac{\partial P_{loss}}{\partial \mathbf{z}} \right|_{\mathbf{z}=\mathbf{z}^0}$$

$$\Delta \mathbf{x} = \mathbf{x} - \mathbf{x}^0$$

其中, $\mathbf{z}$ 为潮流因变量矩阵; $\boldsymbol{\beta}(\mathbf{x}^0)$ 为初始潮流因变量矩阵 $\mathbf{z}^0$ 下线损对因变量的灵敏度向量; $\mathbf{E}(\mathbf{x}^0)$ 为误差矩阵,该矩阵仅与电网结构以及初始潮流因变量矩阵 $\mathbf{z}^0$ (节点注入)有关; $\Delta \mathbf{x}$ 为状态变量的偏差向量。

则运行损耗成本 C_{Oe} 可表示如下:

$$C_{Oe} = \sum_{i=1}^N \int_0^{T_y} P_{loss}(t) p(t) dt \quad (7)$$

其中, $P_{loss}(t)$ 为计算周期内有功损耗的瞬时功率; N 为设备使用寿命; $p(t)$ 为实时单位功率成本电价; T_y 为第 y 年总供电时间。

3.3 运行维护成本

电力设备运行维护成本 C_{Me} 涵盖范围广,不仅包括设备维修产生的费用 C_M ,还包含设备维修引起的停电损失 C_L 。

$$C_{Me} = C_M + C_L \quad (8)$$

维修费用根据维修设备的不同而不同,且每年设备需要维修次数不同,一种简单的方法是将所有运行维护成本进行均摊,即设备维修费用按其投资的百分数给出:

$$C_M = C_{le} H \quad (9)$$

其中, H 为设备维修费用占投资的比例系数。

停电损失 C_L 则需要结合供电可靠性指标——期望缺供电量指标(ENNS)进行计算, C_L 可表示为:

$$C_L = \sum_{q=1}^{L_n} \int_0^T \lambda_q(t) P_q(t) C_{lossq}(t) dt \quad (10)$$

其中, L_n 为负荷点总数; $T=1$ a; $P_q(t)$ 为负荷点 q 在 t 时刻对应的供电电量; $C_{lossq}(t)$ 为负荷点 q 在 t 时刻对应的单位停电损失; $\lambda_q(t)$ 为负荷点 q 在 t 时刻的故障率,其由配电网元件故障率、网络结构、修复率、修复时间决定,具体可通过隐马尔科夫模型,结合供电可靠性进行求解。

3.4 退役成本

各设备退役成本 C_{De} 差别很大,有些设备能够回收利用,具有一定的残值,有些需要额外的处理费用,即残值为负值。设备的残值一定程度上是在一次投资时刻就已决定了,因此,退役成本可简单记为:

$$C_{De} = C_{le} d \times 100\% \quad (11)$$

其中, d 为设备平均回收价值。

3.5 改善措施的全寿命周期模型

本文主要从配电网规划和改造优化配电网结构方面来改善电压偏差情况及提高供电可靠性,重点考虑增大馈线主干线的导线截面方法。

对于每种措施,投资措施的 LCC 等年值费用为设备一次投资费用、设备运行损耗费用、运行维护费用之和减去退役成本。

$$C_{LCCe} = C_{le} + C_{Oe} + C_{Me} - C_{De} \quad (12)$$

对各方案进行 LCC 评估后, LCC 值最小的即为最优方案。

4 实例分析

某市农村共有 10 kV 公用线路 35 条,线路总长 1032.119 km,其中主干线长 242.64 km;公用配电变压器共有 304 台,容量为 50705 kV·A。10 kV 网络形成以变电站、开闭所为电源点,辐射供电模式为主的中压网架结构。据统计:主干长度在 5 km 以内的线路有 17 条,占线路总数的 48.57%;主干长度为 5~10 km 的线路有 12 条,占线路总数的 34.29%;主干长度为 10~15 km 的线路有 3 条,占线路总数的 8.57%;主干长度在 15 km 以上的线路有 3 条,占线路总数的 8.57%。负载率超过 70% 重载的线路共有 5 条,占线路总数的 14.29%;负载率低于 20% 的轻载线路有 6 条。10 kV 线路线损率大小与线路结构、线路电流大小有关,统计表明,10 kV 线路平均线损率为 7.34%,线损率高、线路设备选型标准偏低,是该地区的主要问题。

根据统计数据与实际配电网参数建立该地区的 10 kV 馈线模型,利用 PSCAD 软件仿真计算电压偏差情况。下面仅给出该地区长丰所的计算数据,进行 LCC 分析。

表 3 给出了长丰所 4 条 10 kV 馈线线路的组成型号与距离。

根据仿真计算结果,长丰所的 4 条馈线电压偏差均超过国家标准,最大偏差分别为 -20.57%、-10.64%、-14.75%、-22.34%。其原因为线路较长、线径小、负荷较重。因此,根据发热要求、线损要求、经济电流密度要求计算导线截面,给出 2 种方案如表 4 所示。

根据上述方案,重新进行 PSCAD 仿真,可得到

表 3 采用改善措施前线路型号与长度
Table 3 Length and type of lines
before improvement

馈线	型号	长度/km	馈线	型号	长度/km
长丰	LGJ-35	33.609	牛漏	LGJ-35	26.076
	LGJ-95	9.571		LGJ-50	12.866
	—	—		LGJ-70	5.175
东和	LGJ-35	0.876	新中	LGJ-35	87.670
	LGJ-50	14.608		LGJ-50	4.005
	—	—		LGJ-70	36.941

表 4 采用改善措施后线路型号与长度
Table 4 Length and type of lines after improvement

方案	馈线	型号	长度/km	电杆更换
1	长丰	LGJ-120	33.609	—
		LGJ-185	9.571	
	东和	LGJ-120	0.876	—
		LGJ-185	14.608	
	牛漏	LGJ-120	26.076	—
		LGJ-185	18.041	
	新中	LGJ-120	91.675	—
		LGJ-185	36.941	
	长丰	LGJ-35	33.609	41
		LGJ-240	9.571	
2	东和	—	—	8
		LGJ-35	0.876	
		LGJ-50	8.909	
	牛漏	LGJ-240	5.699	22
		LGJ-35	26.076	
		LGJ-240	18.041	
	新中	—	—	40
		LGJ-35	87.670	
		LGJ-50	4.005	
		LGJ-240	36.94	

新的电压偏差,表 5 给出改造前后电压偏差对比。从表 5 看出,方案 1 与方案 2 能有效改善该地区的电压偏差问题。

表 5 采用改善措施前后电压偏差的对比

Table 5 Comparison of voltage deviation between before and after improvement

馈线	改造前最大 电压偏差/%	改造后最大电压偏差/%	
		方案 1	方案 2
长丰	-20.57	-11.93	-13.90
东和	-10.64	-5.65	-6.43
牛漏	-14.75	-6.79	-8.24
新中	-22.34	-13.45	-14.26

结合供电可靠性理论,对各方案进行可靠性评估,表 6 给出原始可靠性评估结果,改造后可靠性评估结果如表 7 所示。

结合上述理论与结果,对 2 种方案进行 LCC 评估,评估结果见表 8。

从表 8 可以看出,对于长丰线、东和线与新中线,方案 1 的 LCC 更优,对于牛漏线,方案 2 的 LCC 更优。最终可以确定长丰所的改造方案为:对长丰线、东和线与新中线实施方案 1,对牛漏线实施方案 2。

表 6 采用改善措施前可靠性评估结果
Table 6 Results of reliability evaluation
before improvement

馈线	负荷 数量	RS-1	AIHC-1	RS-2	AIHC-2	RS-3	AIHC-3
长丰	101	0.99162	73.420	0.99197	70.374	0.99163	73.342
东和	14	0.99386	53.749	0.99421	50.703	0.99390	53.672
牛漏	67	0.99099	78.944	0.99134	75.898	0.99134	75.820
新中	134	0.99183	71.564	0.99218	68.518	0.99184	71.487

表 7 采用改善措施后可靠性评估结果

Table 7 Results of reliability evaluation after improvement

方案	馈线	负荷 数量	RS-1	AIHC-1	RS-2	AIHC-2	RS-3	AIHC-3
1	长丰	101	0.99383	54.089	0.99417	51.043	0.99383	54.012
	东和	14	0.99633	32.145	0.99668	29.099	0.99634	32.068
	牛漏	67	0.99503	43.502	0.99538	40.456	0.99504	43.424
	新中	134	0.99540	40.262	0.99575	37.216	0.99541	40.184
2	长丰	101	0.99407	51.923	0.99442	48.877	0.99408	51.846
	东和	14	0.99647	30.961	0.99681	27.915	0.99647	30.883
	牛漏	67	0.99518	42.673	0.99559	39.627	0.99525	42.595
	新中	134	0.99524	42.244	0.99562	39.198	0.99528	42.167

表 8 LCC 评估结果

Table 8 Results of LCC evaluation

方案	馈线	C_{1c} /万元	C_{1b} /万元	C_{1e} /万元	C_{1o} /万元	C_{1DC} /万元
1	长丰	586.977	259.080	11.740	1083.938	1918.255
	东和	246.472	92.904	4.929	43.655	378.102
	牛漏	626.319	264.702	12.526	725.122	1603.617
	新中	1775.52	771.696	35.510	1212.941	3724.647
2	长丰	198.114	259.080	3.962	3050.373	3503.605
	东和	112.681	92.904	2.254	127.921	331.252
	牛漏	355.636	264.702	7.113	2005.615	2618.840
	新中	726.580	771.696	14.532	3284.339	4768.083

5 结论

本文以 LCC 理论为基础,综合考虑了配电网改造对供电电压偏差和供电可靠性的影响,提出一套治理供电质量的优化方法;首先制定可行的技术方案,利用仿真计算软件进行电压偏差与可靠性评估,根据评估结果,结合 LCC 理论得出 LCC 评估结果,从技术可行的方案中选择经济型最优的方案。本文以某市农村配电网为例,重点分析了某所 10 kV 馈线改造方案的选取方法,用以说明本文方法的具体实现。本文方法兼顾经济性与技术可行性,为配电网改造,尤其是农村配网的升级提供了较好的依据。

参考文献:

[1] 李翔,杨淑霞,张红斌. 供电服务质量评价方法研究[J]. 电网技术,2004,28(12):34-38.
LI Xiang,YANG Shuxia,ZHANG Hongbin. Research on assessment method for power supply service quality[J]. Power System Technology,2004,28(12):34-38.
[2] The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 493-2007 IEEE recommended practice for the design of reliable industrial and commercial power systems[S]. [S.I.]:IEEE,2007.

- [3] 肖湘宁,韩民晓,徐永海,等. 电能质量分析与控制[M]. 北京:中国电力出版社,2004:54.
- [4] 中国电力企业联合会电力可靠性管理中心. DL/T836—2003 供电系统用户供电可靠性评价规程[S]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [5] 国家能源局. DLT1208—2013 电能质量评估技术导则供电电压偏差[S]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [6] 胡尊张. 配电网供电能力分析研究方法[D]. 北京:华北电力大学,2006.
HU Zunzhang. Study on the analysis of power supply capability for distribute system[D]. Beijing:North China Electric Power University,2006.
- [7] 肖峻,谷文卓,郭晓丹,等. 配电系统供电能力模型[J]. 电力系统自动化,2011,35(24):47-52.
XIAO Jun, GU Wenzhuo, GUO Xiaodan, et al. A supply capability model for distribution systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(24): 47-52.
- [8] 杨振宇,赵剑锋,唐国庆. 成本效益分析在电能质量经济评估中的应用[J]. 现代电力,2005,22(3):80-84.
YANG Zhenyu, ZHAO Jianfeng, TANG Guoqing. Application of cost benefit analysis in economic evaluation of power quality[J]. Modern Electronic Power, 2005, 22(3): 80-84.
- [9] 杨洁,刘开培,龚汉阳,等. 基于LCC的配电网电压偏差治理措施的优化[J]. 电力自动化设备,2014,34(1):21-26.
YANG Jie, LIU Kaipei, GONG Hanyang, et al. LCC-based optimization of countermeasures against distribution network voltage deviation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(1): 21-26.
- [10] 李涛,马薇,黄晓蓓. 基于全寿命周期成本理论的变电设备管理[J]. 电网技术,2008,32(11):50-53.
LI Tao, MA Wei, HUANG Xiaobei. Power transformation equipment management based on life cycle cost theory[J]. Power System Technology, 2008, 32(11): 50-53.
- [11] 江修波,吴文宣,陈祥伟. 区间分析法在电力变压器全寿命周期成本模型中的应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(9):50-53.
JIANG Xiubo, WU Wenxuan, CHEN Xiangwei. Transformer life cycle cost model based on interval analysis[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(9): 50-53.
- [12] 鲁国起,张焰,祝达康. 全寿命周期成本及其在电网规划中的应用[J]. 现代电力,2009(6):77-81.
LU Guoqi, ZHANG Yan, ZHU Dakang. Life cycle cost and its application in power grid planning[J]. Modern Electric Power, 2009(6): 77-81.
- [13] LI W, ZHU J, ZHU Z. The energy-saving benefit evaluation methods of the grid construction project based on life cycle cost theory[J]. Energy Procedia, 2012, 17: 227-232.
- [14] 管霖,邱生敏. 配电网规划网架的线损理论评估方法[J]. 电力自动化设备,2011,31(7):17-20.
GUAN Lin, QIU Shengmin. Estimation of distribution network loss for planning grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(7): 17-20.
- [15] 李晓琦,韩学山,张利. 输电网理论线损的一种快速评估方法[C]//中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十四届学术年会论文集(上册). 南宁:广西大学,2008:270-272.
- [16] 杨秀台. 电力网线损的理论计算和分析[M]. 北京:水利电力出版社,1985:56-62.

作者简介:



杨金涛

杨金涛(1991—),男,浙江绍兴人,硕士研究生,研究方向为电能质量及其控制技术;

乐健(1975—),男,湖北黄冈人,副教授,博士,主要从事智能电网运行与控制技术方面的研究工作(E-mail: lej01@mails.tsinghua.edu.cn);

刘开培(1962—),男,湖北荆门人,教授,博士研究生导师,博士,主要从事电力电子技术方面的研究工作;

刘阳(1989—),男,河南濮阳人,硕士研究生,研究方向为电能质量问题及其控制技术;

张广怡(1991—),女,河南新乡人,硕士研究生,研究方向为电能质量问题及其控制技术。

Improvement measure optimization based on LCC for voltage quality of distribution network

YANG Jintao, LE Jian, LIU Kaipei, LIU Yang, ZHANG Guangyi

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: With the consideration of load fluctuation, the power flow of distribution network is calculated by the back/forward sweep method, the voltage deviation of each load node is evaluated, and the power-supply reliability of distribution network is calculated by the hidden Markov method. The measures to improve the reliability and reduce the deviation are put forward and technically evaluated. The technically feasible measures are economically compared based on the LCC(Life-Cycle Cost) analysis to obtain the optimal improvement scheme. With a distribution network as an example, the specific implementation of the proposed method is described and its validity is verified.

Key words: electric power distribution; power-supply quality; power quality; LCC; electric power supply reliability; voltage deviation; optimization