

“低电压”问题产生机理及其治理思路探析

徐田磊 赵瑜杰 张 懿

(国网成都市青白江供电公司 ,四川 成都 610300)

摘要: 随着经济社会的不断发展,电力用户用电规模不断扩大,用电需求逐步提高,供需矛盾持续加剧,低电压问题不断涌现,严重影响电力企业供电服务水平。从原理上对低电压问题产生的原因进行深入分析,结合电力供应实际,对不同类别低电压问题,通过仿真验证,提出一系列完整治理思路。最后,通过对不同治理思路工程实际造价、工程量的分析,为电力企业低电压治理工作提供一定参考。

关键词: 低电压; 线路损耗; 压降; 治理

Abstract: With the continuous development of economic society, the scale of electricity has been constantly expanding and the demand of electricity has been gradually increasing. This phenomenon accelerates the inconsistency of power supply and demand, and the "low voltage" problems occur frequently, which seriously affects the service level of power supply. Firstly the formation mechanism of the "low voltage" problem is analyzed, and then aiming at different kinds of "low voltage" problems, a series of solution ideas verified by simulation are proposed combining with the power supply reality. Finally, some references are provided for power enterprises to solve the "low voltage" problem through analyzing the price and work amount of various solution ideas.

Key words: low voltage; line loss; voltage drop; solution ideas

中图分类号: TM727.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)03-0048-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.03.011

0 引言

随着中国经济社会的迅猛发展,城乡居民生活水平不断提高,配电网用电性质也发生了根本改变,用电需求进入更高层次。配电网尤其是广大农村电力供需矛盾加剧,供电低电压现象不断涌现^[1]。由低电压问题所引起的配电网电能质量问题受到全社会高度关注,改善配电网供电质量,已经成为社会发展共识。

1 低电压问题产生机理分析

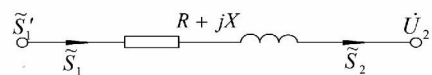
负荷功率流经电力线路产生的有功损耗以及无功损耗,是引起线路压降的主要原因。根据电力线路等值串联阻抗支路模型以及相量图,如图1所示,对线路压降进行分析可得

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + d\dot{U} = \dot{U}_2 + \left(\frac{\tilde{S}_2}{\dot{U}_2} \right)^* (R + jX)$$

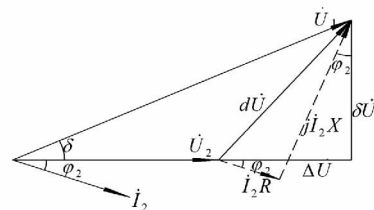
$$= U_2 + \frac{P_2 - jQ_2}{U_2} (R + jX) \quad (1)$$

由于配电网功率因数较高,图1(b)中 $\delta < 10^\circ$,因此线路垂直压降 δU 可以忽略,在此基础上对式(1)进行进一步简化设置可得

$$\Delta U = \frac{P_2 \cdot R + Q_2 \cdot X}{U_2} \quad (2)$$



(a) 等值电路



(b) 相量图

图1 串联阻抗支路等值电路及相量图

1.1 低压线路供电能力不足

根据式(2),线路阻抗是影响线路压降的关键

性参数,线路截面过小,线路电阻变大,将增大线路压降。由于电网建设发展的历史原因,部分地区低压配电网线路因建设时间早,选型标准不高,线路线径小,线路阻抗大,导致线路供电能力不足^[2];与此同时,电力负荷的不断增长使原有的用电标准不能达到现有要求,原有线径配电网线路已不能满足现代经济发展需求。

1.2 供电半径大

根据电力行业标准,低压配电网线路供电半径不超过0.4 km,而在部分地区尤其是农村地区,由于山区、丘陵等特殊地形,负荷分布较为散乱,供电半径过大,致使电源点布置不合理。此外,农村乡镇缺乏统一规划,居民杂乱无章扩建现象严重,增大低压供电半径,部分地区供电半径长达数公里,致使配电变压器台区不能深入负荷中心^[3]。

1.3 无功补偿能力不足

随着越来越多异步电动机等大功率电器的使用,配电网传输感性无功增大,导致线路功率因数低,线路压降大^[4]。对存在“低电压”情况的台区进行现场查勘,发现这部分台区配电变压器侧无功补偿容量和线路无功补偿容量普遍不足,导致低压线路无功损耗加大,末端电压过低。

1.4 配电变压器供电能力不足

随着社会生产力的不断提高,城市地区生产、生活用电负荷迅速增长,而在农村地区由于生活水平的不断提高,“一村一品”的农产品逐步走向市场;特别是受“家电下乡”政策的激励,空调等大容量电器普遍进入农村家庭,农村用电负荷也快速增加。部分地区原有配电变压器台区供电容量不足,负荷率较高,线路损耗加大,导致末端用户电压偏低。

2 现场数据采集

2.1 现场调查

四川省成都市青白江区龙王镇、人和乡由于特有的山区地形以及农网建设等原因,存在典型的低电压问题。通过对该区域红福路油坊村公变进行现场调查,得到如下数据:

电源侧:10 kV 线路长度约20 km,台区配电变压器型号为S7-50/10,容量50 kVA,接线为Y-Yn0,变压器挡位已调至最高挡位Ⅲ档(9 500/400)。

出线侧:出线侧装有并联补偿装置。出线架空电缆型号为LGJ-25/4型钢芯铝绞线,根据油坊村配电变压器数据采集终端数据,2016年3月某日24 h电压数据中,台区配电变压器出口侧母线电压统计如表1所示。

表1 台区配电变压器出口侧母线电压统计表

	A相	B相	C相
最高电压/V	242.2	228.5	250.1
最低电压/V	220.9	200.6	219.1
平均电压/V	233.0	214.8	233.6

用户侧:台区最远用户220 V 低压线路约4 km。用户家中大功率电器有电饭煲、冰箱等。沿线用户电压逐次降低。在用电高峰期,约有一半的用户用电电压低于190 V,其中最末端用户电压低至150 V。

2.2 现场数据分析

油坊村台区的电源侧电压基本合格,但是存在比较严重的三相不平衡现象。台区末端低电压现象严重,主要是由于低压供电半径过长,线路损耗过大造成的;同时,由于负荷存在分散性和不确定性,会造成比较大的三相不平衡度。

3 仿真分析

3.1 模型搭建与验证

研究工作在仿真软件Matlab平台上采用Simulink组件搭建低电压台区的模型,利用SimPowerSystem库中适当元件模块搭建系统模型,并对照油坊村公变实际物理系统设置模型元件中对应的参数,建立配电网三相的Simulink模型,对配电网电压进行仿真,如图2所示。

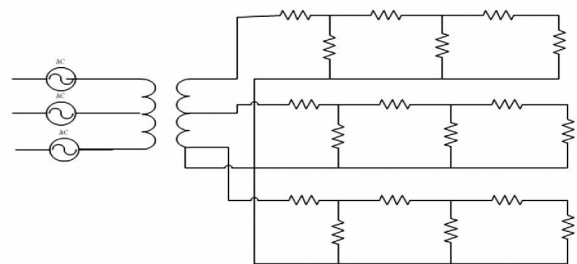


图2 配电网三相仿真模型电路简图

仿真模型参数设置如下:变压器参数设置为型号S7-50/10,容量50 kVA,接线为Y-Yn0;线路参数依照LGJ-25/4型号钢芯铝绞线直流电阻1.131

Ω/km ,三段线路参考现场实际情况 ,分别设置为 10 km、15 km 以及 20 km ,负荷功率因数设置为 0.90。调整负荷率模拟台区 24 h 负荷情况 结果如图 3、图 4 所示。

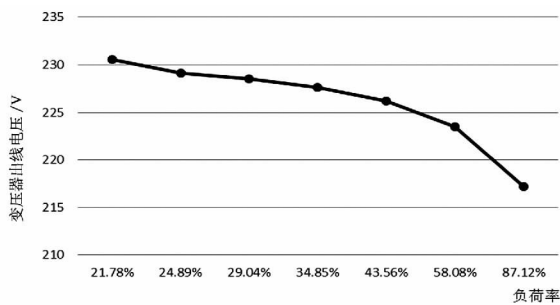


图 3 变压器出线电压仿真结果

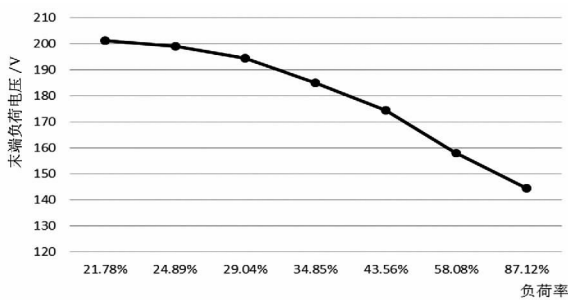


图 4 线路末端负荷电压仿真结果

由图 3 可知 ,台区变压器出线电压波动区间为 218 ~ 230.5 V ,现场实测数据为 214.8 ~ 228.5 V ;末端负荷处最低电压仿真结果为 146 V ,现场实测数据为 150 V。对比可知 ,仿真模型通过合理的简化以及精准的参数设置 ,反映了台区现场情况 ,模型具有较高的可靠性。

3.2 增加线路截面积

根据现场查勘数据 ,油坊村公变出线架空电缆型号为 LGJ-25/4 型号钢芯铝绞线 ,该类导线直流电阻为 1.131 Ω/km 。通过将仿真模型导线替换为 LGJ-35/6 型钢筋铝绞线 ,该类导线直流电阻为 0.823 Ω/km 。可得图 5 仿真结果。

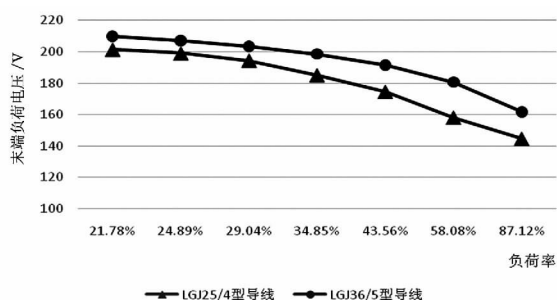


图 5 不同截面导线末端负荷电压仿真结果
通过增加导线截面积降低线路阻抗 ,可以改善

线路末端负荷电压 根据图 5 可知 ,当台区负荷率低于 35% 时 ,采用 LGJ35/6 型钢芯铝绞线可以将末端负荷电压提升至 200 V ,在高负荷率下 ,由于供电半径长 ,线路阻抗仍较大 ,末端负荷电压低于 200 V ,此时可以继续增大线路截面积 ,改善末端负荷电压。

3.3 增加串联补偿装置

负荷功率通过线路电抗时 ,产生的无功损耗 ,引起线路压降 ,通过增加串联补偿装置 ,引入容性电抗 ,可以降低线路无功损耗 ,考虑负荷为感性负载 ,串联补偿采用过补偿形式 ,采用 0.677 9 Ω 容抗补偿装置 ,线路电抗为 0.645 6 Ω ,补偿系数为 105% ,仿真结果见图 6。

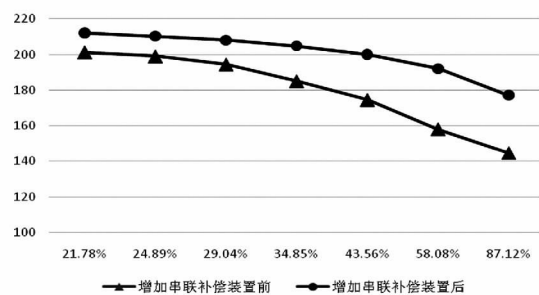


图 6 增加串联补偿装置前后末端
负荷电压仿真结果

由图 6 可以看出 ,引入串联补偿装置后 ,末端负荷电压得到改善 ,电压补偿效果随负荷率增加而加大 ,在高负荷率情况下电压提升值近 40 V。

3.4 增加并联补偿装置

感性负荷功率通过配电网线路传输时 ,会在线路阻抗上产生有功损耗以及无功损耗 ,进而影响降低负荷电压 ,增加并联补偿装置。对配电变压器进行集中补偿 ,负荷自然功率因数为 0.9 ,补偿采用动态补偿法 ,将负荷功率因数提升至 0.95 ,补偿容量由式 (3) 确定。运行仿真模型可得图 7 结果。

$$Q_c = P \times [\tan(\cos^{-1}0.9) - \tan(\cos^{-1}0.95)] \quad (3)$$

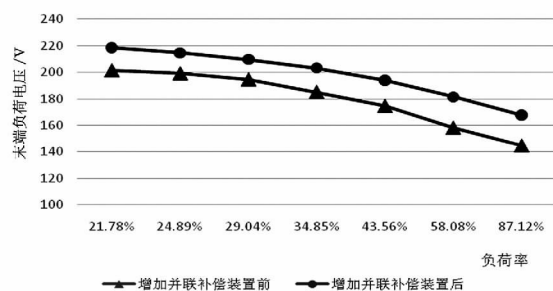


图 7 增加并联补偿装置前后末端负荷
电压仿真结果

表2 低电压治理思路适用类别

治理思路	适用低电压类别
增加线路截面积	供电半径较小,负荷容量大,线路供电能力不足
迁移变压器	供电半径大,变压器布置不合理,且现场具备迁移条件
增加串联补偿装置	线路电抗较大,负荷容量大
增加并联补偿装置	功率因数低,无功补偿不足

表3 油坊村公变不同治理思路费用明细

治理思路	材料	材料费	工程费	材料数量	总费用/万元	备注
增加线路截面积	LGJ-35/6型架空导线	1.685 万元/t	0.1 万元/km	5.676 t	13.564	
迁移变压器	无	无	1.5 万元/台	1 台	1.5	线路长 40 km,
增加串联补偿装置	串联无功补偿装置	2 万元/台	0.4 万元/台	1 台	2.4	导线质量 141.9 kg/km
增加并联补偿装置	并联无功补偿装置	4 万元/台	0.2 万元/台	1 台	4.2	

采用并联补偿装置后,提高了线路功率因数,对末端负荷电压质量进行了改善。针对功率因数较低类型低电压台区,可以采用并联无功补偿装置对低电压问题进行治理。

3.5 迁移变压器

供电半径过大,是广大农村低电压问题产生的主要原因之一。由于部分地区配电网规划未能对负荷发展进行合理预测,致使配电变压器地理分布不合理,供电半径过大。通过迁移配电网变压器,使台区位于负荷中心,减小供电半径,可以降低线路压降。结合油坊村实际地形特点,对仿真模型参数进行调整,使台区供电半径不大于 1.5 km,通过仿真验证可得图 8。

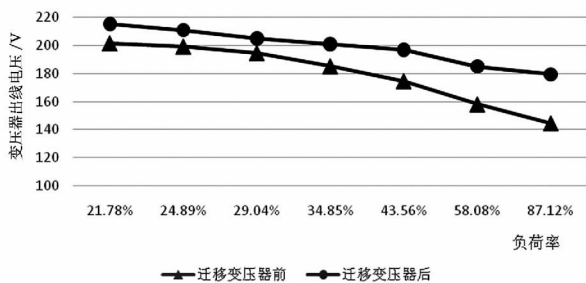


图8 迁移变压器前后末端负荷电压仿真结果

通过仿真结果分析可知,调整变压器至负荷中心,可以有效降低线路压降。针对配电变压器地理分布不合理这一类低电压问题,可以采用迁移变压器的方法进行治理。

4 低电压治理思路探究

从低电压问题产生的理论机理出发,借助 Mat-

lab 仿真平台,分析并提出了低电压问题一系列的治理思路,针对不同类别的低电压问题提出不同解决思路。如针对线路功率因数低、配电变压器及线路无功补偿不足台区,仅通过采用并联无功补偿装置,就能解决低电压问题。

低电压问题是配电网普遍存在的问题,实现低电压问题的有效治理,急需电网建立发展长效机制,采取低电压治理的综合整治系统措施,从管理和技术两方面快速、高效治理农村低电压,确保“新农村、新电力、新服务”顺利推展。为了向电力企业低电压治理工作提供更多可靠性参考,从实际工程造价角度出发,对不同低电压治理思路的工程费用进行估算,以油坊村公变治理为例进行治理费用对比,具体造价计算见表 3。

5 结论

1) 广大地区配电网尤其是农村低压配电网存在严重的低电压问题,低电压问题产生的主要原因有低压线路供电能力不足、无功补偿不足、供电半径大、配电变压器供电能力不足等。

2) 通过 Simulink 仿真分析,增加线路截面积、增加串联补偿装置、增加并联补偿装置、迁移变压器等实际可行的低电压治理措施,可以有效改善低电压用户电能质量。

3) 所提出的一系列低电压问题治理措施,适用于不同类别的低电压问题治理,且改造费用存在差异。电力企业可以就不同的低电压问题,在综合考

(下转第 65 页)

相金属性接地,持续时间 100 ms;整流侧、逆变侧交流系统三相金属性接地,持续时间 100 ms;整流侧、逆变侧交流系统单相高阻接地,持续时间 100 ms,双极直流输出功率为额定 8 000 MW。试验现象和结论与本次试验一致。

在试验所做短路比范围内,发生各类典型故障,交流系统强度不同对直流电压、直流电流的故障恢复特性影响不大。直流控制特性、参数以及直流保护定值等均未出现异常,表明在长距离直流工程,控制保护参数在 3.5 以上的短路比范围内是适应的,控制保护策略和参数不需要进行调整。

4 总 结

1) 针对交流系统强弱对直流系统稳定运行状态的影响进行研究,把能使直流输电系统以额定功率运行的短路比定义为临界短路比,通过不同短路比组合与直流输送功率最大值之间关系的研究,推算出了溪浙特高压工程临界短路比为 3.1;把在轻微扰动下直流输电系统能够自恢复的短路比定义为稳态短路比,通过额定功率稳定运行工况下几种典型的扰动试验研究出了溪浙特高压工程稳态短路比为 3.5。临界短路比和稳态短路比的提出和推算对交直流电网的相关设计规划提供了有益的参考。

2) 针对交流系统强弱对交直流系统故障恢复特性的影响进行研究,对试验项目设置和试验过程进行详细的阐述,通过对所有试验结果的对比分析总结出下列结论:在短路比为 3.5 及以上发生交流系统故障,短路比不同对直流系统的故障恢复特性影响较小,直流系统的控制保护的策略和参数不需调整。该结论对直流工程投运后两侧交流系统强度发生变化时控制保护系统是否需要调整提供了有益的参考。

(上接第 51 页)

虑工程造价的基础上,选取经济性好、治理效益佳的治理方案对低电压问题进行治理。

参考文献

[1] 潘朝毅. 针对如何解决农村配网低电压问题的探讨[J]. 广东科技, 2011(24): 159-160.

[2] 焦玉振. 解决电网低电压的基本技术手段[J]. 农村电

参考文献

[1] 肖俊, 李兴源, 王海燕. 交直流系统强度指标分析[J]. 电网技术, 2013, 37(7): 1856-1861.

[2] 徐政. 联于弱交流系统的直流输电特性研究之一——直流输电的输送能力[J]. 电网技术, 1997, 21(1): 12-16.

[3] 徐政, 黄弘扬, 周煜智. 描述交直流并列系统电网结构品质的 3 种宏观指标[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(4): 1-7.

[4] 王鹏飞, 张英敏, 陈虎, 等. 直流输电系统临界短路比的研究[J]. 华东电力, 2011, 39(11): 1780-1783.

[5] 林伟芳, 汤涌, 卜广全. 多馈入交直流系统短路比的定义和应用[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(31): 1-8.

[6] 李兴源. 高压直流输电系统的运行和控制[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 153-156.

[7] 徐政. 交直流电力系统动态行为分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 61-66.

[8] 吴庆范, 黄金海, 张爱玲, 等. 溪洛渡—浙江 ±800 kV 特高压直流输电工程直流保护系统实施策略及其仿真试验研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 115-121.

[9] 吴庆范, 黄金海, 张爱玲, 等. 一种新型三取二逻辑装置及配置策略在高岭背靠背扩建工程中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(2): 72-76.

[10] 张爱玲. 溪洛渡送电广东同塔双回直流输电工程控制保护策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(9): 72-76.

[11] 魏星. 交流系统强度对 HVDC 故障恢复特性影响的仿真分析[J]. 电力科学与工程, 2007, 23(3): 24-26.

[12] 周长春, 徐政. 联于弱交流系统的 HVDC 故障恢复特性仿真分析[J]. 电网技术, 2003, 27(11): 18-21.

[13] 林少伯, 庞广恒, 王华伟, 等. 直流控制保护仿真技术提升及保护功能试验研究[R]. 中国电力科学研究院, 2015: 231-235. (收稿日期: 2017-02-13)

工, 2012, 20(4): 31.

[3] 贡德忠, 刘永军. 客户端低电压产生的原因及解决方案[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2011(32).

[4] 张高峰, 黄芳. 农村低压问题的解决措施[J]. 农村电子技术, 2011(3): 26-27.

作者简介:

徐田磊(1992), 本科, 从事电能计量、线损管理工作, 主要研究课题为县级供电企业线损管理。

(收稿日期: 2016-01-26)