

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2017.10.022

配电网电压偏差治理措施对比分析

刘红霞¹, 林琳¹, 管萸², 林祺蓉¹, 刘勇², 孙雯¹

(1. 国网济南供电公司, 山东 济南 250012; 2. 国网山东省电力公司, 山东 济南 250012)

摘要: 针对复杂配电网存在的距离大负荷输电导致的电压降低和水电丰期无功富余导致的电压抬升问题, 选取了既有水电上网又有大负荷的复杂配电网作为分析对象, 利用电力系统分析综合程序 PSASP 建立了问题稳态分析模型, 对不同类型治理措施的配网电压偏差抑制效果进行了仿真。选取了分析对象实际运行时存在的 3 种典型潮流模式, 分别采用无功集中补偿、分布式动态无功补偿和分布式固定无功补偿 3 种配网电压偏差治理措施, 比较了 3 种无功治理措施的有效性和经济性, 提出了不同形式无功补偿措施在配网电压偏差治理中的适用范围。研究表明: 无功集中补偿措施适用范围有限, 分布式无功补偿措施适用性强但经济型较差, 对于电压偏差要求不高的配网可采用分布式固定无功补偿。

关键词: 配电网; 电压偏差; 无功补偿; 稳态模型

中图分类号: TM714.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2017)10-1200-05

Comparative analysis of control measures for voltage deviation of distribution network

LIU Hong-xia¹, LIN Lin¹, GUAN Ti², LIN Qi-rong¹, LIU Yong², SUN Wen¹

(1. State Grid Jinan Power Supply Company, Jinan 250012, China;

2. State Grid Shandong Electric Company, Jinan 250012, China)

Abstract: Aiming at the problems of voltage drop caused by the large distance load transmission and the voltage rise caused by the recovery of the hydropower season, the complex distribution network with both hydropower and the heavy load was selected as the object of analysis. The power system analysis software package (PSASP) was used to establish steady-state analysis model, the control measures of the reactive voltage concentration compensation, distributed dynamic reactive power compensation and distributed fixed reactive power compensation were analyzed. The effectiveness and economy of the three kinds of reactive power control measures were compared. The applicable conditions of different forms of reactive power compensation measures in the control of distribution voltage deviation were pointed out. The results indicate that that the application of reactive power centralized compensation is limited, and the distributed reactive power compensation measures are applicable but the economy is poor. For distributed distribution with low voltage deviation, distributed reactive power compensation can be used.

Key words: distribution network; voltage deviation; reactive power compensation; steady state model

0 引言

电压质量是评价电力产品品质优劣的重要指标, 电压质量对电网稳定、电力设备安全运行、供电损耗、产品质量、单产能耗以及人民生活都有着直接影响,

其中电压偏差是最重要的指标之一。当前 10 kV 配网既存在因电源点布局不合理、供电半径过长导致的末端电压降低问题^[1-3], 也存在因小水电无功发送过多导致的电压抬升问题^[4-6]。配电网电压偏差严重影响了用户电能质量, 日益受到关注^[7-8]。

收稿日期: 2017-03-06

作者简介: 刘红霞 (1985-), 女, 山东菏泽人, 硕士, 工程师, 主要从事电网调度自动化系统及配电自动化系统维护方面的研究。E-mail: ddzdh2661@126.com

为了对既有小水电上网又有大用电负荷的复杂配电网电压偏差治理措施进行研究, 本研究将以某县供电公司区域电网存在的丰水电压抬升问题为分析对象, 选取丰水一般情况、丰水满功率情况和枯水情况 3 种典型潮流模式, 使用电力系统分析综合程序 PSASP 软件对各种运行模式下该区域电网电压偏差现象进行稳态分析, 提出不同形式无功补偿措施在配网电压偏差治理中的适用范围。

1 问题简介

本文所研究的区域配电网主要为农业用电负荷, 无大型动力负荷, 该区域境内有 6 个水电站与 35 kV 变电站相连, 水电装机容量为 3 375 kW, 最大用电负荷约为 1 500 kW。

电网结构如图 1 所示。

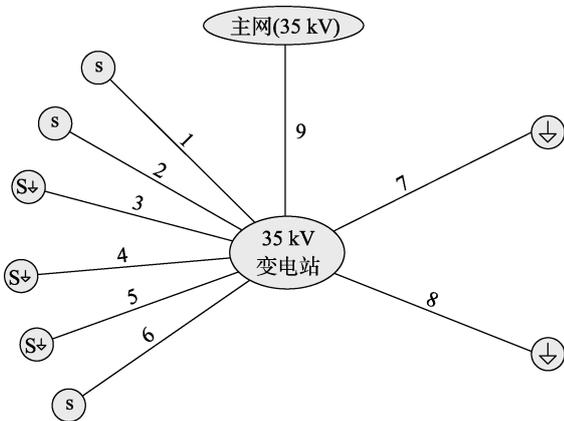


图 1 区域电网拓扑结构图

图 1 中, 线路 1、2 和 6 为小水电上网线路, 线路 7 和 8 给纯用电负荷供电, 线路 3、4 和 5 首端既有小水电上网同时又向用户供电, 线路 9 在一般情况下仅起到与主网连接的作用。线路参数如表 1 所示。

表 1 35 kV 变电站进出线路基本情况

线路序号	电压等级/kV	线路长度/km	导线型号
1	10	0.4	LGJ-50
2	10	5	LGJ-50
3	10	5	LGJ-50
4	10	1	LGJ-50
5	10	6	LGJ-50
6	10	3	LGJ-50
7	10	2.8	LGJ-50
8	10	14.9	LGJ-50
9	35	12.8	LGJ-95

丰水期和枯水期两河站进出线的潮流分布情况如表 2、表 3 所示。

表 2 丰水期潮流情况

线路序号	潮流	
	有功/kW	无功/kvar
1	800	600
2	1 500	1 150
3	-780	-580
4	-370	-270
5	1 300	950
6	2 000	1 500
7	-3 500	-2 750
8	-320	-240

表 3 枯水期潮流情况

线路序号	潮流	
	有功/kW	无功/kvar
1	800	600
2	1 250	950
3	-350	-260
4	-160	-120
5	-800	-600
6	1 700	1 270
7	-2 500	-1 800
8	-240	-180

在丰水期, 线路 5 部分用户电压达到 250 V 以上, 多次造成客户用电设备损坏。经初步分析, 认为小水电丰水期无功过剩, 用户无法消纳是导致线路电压抬升的原因。

2 稳态运行电压分析

本文基于 PSASP 建立该区域系统的稳态分析模型, 其中 35 kV 电网为平衡节点, 其他水电站为 PQ 节点。当系统处于丰水潮流方式时, 对应各 10 kV 线路尾端电压分布情况如表 4 所示。

表 4 丰水期间 10 kV 出线远端电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	0.997 4
2	1.049 0
3	0.964 8
4	0.992 3
5	1.050 2
6	1.078 4
7	0.907 0
8	0.957 9

当系统处于枯水潮流方式时, 对应 10 kV 线路尾端电压分布情况如表 5 所示。

表 5 枯水期间 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	0.981 5
2	1.025 0
3	0.965 5
4	0.977 8
5	0.940 8
6	1.051 8
7	0.918 6
8	0.951 0

从表 4、表 5 可知,无论是典型丰水期潮流方式,还是枯水期潮流方式,都不至于在线路 5 的远端产生较高的工频电压升高。由于线路 5 既是电源负荷上网线路,也有用户负荷。如果线路 5 所连水电处于满功率运行状态,即上网有功为 3 375 kW、无功为 2 466 kvar,在其他线路潮流不变的情况下,对应的无功功率将有 1 876 kvar 富余,变电站 10 kV 出线电压分布情况如表 6 所示。

表 6 线路 5 水电满功率上网情况下 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	1.057 6
2	1.106 5
3	1.027 0
4	1.052 7
5	1.182 6
6	1.134 6
7	0.973 3
8	1.020 5

从表 6 可知,在线路 5 所连接水电满功率上网的情况下其远端电压上升至额定电压的 1.18 倍,对应的用户侧电压(额定 220 V)将达到 259 V,将影响居民正常用电。

3 丰水期电压抬升治理措施

3.1 35 kV 变电站 10 kV 母线加装高压电抗器进行无功吸收

在线路 5 水电满功率发电潮流方式下,仅在 35 kV 变电站 10 kV 母线处加装 1 900 kvar 高压电抗器对剩余无功进行吸收,则稳定运行情况下,各节点的电压分布情况如表 7 所示。

表 7 线路 5 水电满功率上网情况下无功集中补偿各出线远端电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	0.979 7
2	1.032 1
3	0.946 5
4	0.974 5
5	1.112 5
6	1.061 9
7	0.887 3
8	0.939 4

从表 7 可知,仅在 10 kV 母线加装电抗器进行无功集中治理,将导致重负荷的线路 7 远端电压降低,同时线路 5 的电压治理效果也不理想(远端电压从 1.18 p.u. 降低为 1.11 p.u.)。因此,对于本文分析的这种既有水电上网,又有纯用电负荷的复杂配网系统,应采用无功分布补偿方式。

3.2 配备分布式动态无功补偿(SVG)的治理方案

从 3.1 节的分析可知,对于复杂配电网,应根据配网线路各自特点,采用分布式无功吸收的方式进行不平衡电压治理。本文在线路 5 远端安装台区静态无功补偿 SVG 装置,装置的无功吸收能力为 5 000 kvar;同时为了解决线路 7 电压降低问题,本文在其远端加装 SVG 装置,其无功产生能力不低于 4 500 kvar。采用该改造方案后,各 10 kV 线路远端电压分布情况如表 8 所示。

表 8 采用分布式无功治理措施后 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	0.986 7
2	1.038 8
3	0.953 2
4	0.981 4
5	1.024 8
6	1.068 7
7	0.927 5
8	0.946 0

从表 8 可知,采用 SVG 分布式补偿方案,可使治理线路的电压满足要求,克服了集中补偿出现的问题。

3.3 配备固定无功补偿分布补偿方案

考虑到使用 SVG 装置进行配网电压偏差治理的成本较高,可以考虑使用固定式无功补偿,即对于远端电压抬升的线路安装电抗器进行治理,对于远端电压降低的线路安装电容器进行治理。但是由于固定式无功补偿装置无法调节无功吸收和输出量,需要考虑其对 3 种不同潮流模式下的适用性问题,使配置的固定式无功吸收装置能够尽量满足各种潮流模式,减少人为投切电抗器或电容器的频率。

(1) 5 000 kvar 电抗器与 4 500 kvar 电容器的适用性

丰水且线路 5 水电站满功率发电潮流方式下,该治理方式下两河站出线电压分布与表 8 相同,适用性满足要求。

当系统运行于丰水一般情况和枯水情况时,10 kV 出线电压分布如表 9、表 10 所示。

表 9 丰水一般情况潮流模式 5 000 kvar 电抗器与 4 500 kvar 电容器无功调节后 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	0.959 5
2	1.012 8
3	0.926 8
4	0.954 2
5	0.923 6
6	1.043 2
7	0.901 8
8	0.919 8

表 10 枯水潮流模式 5 000 kvar 电抗器与 4 500 kvar 电容器无功调节后 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	0.976 1
2	1.019 7
3	0.960 2
4	0.972 4
5	0.850 2
6	1.046 6
7	0.948 9
8	0.945 7

从表 9、表 10 可知, 如果采用固定式的无功装置进行分布补偿, 且在 3 种潮流模式下不使无功补偿装置退出运行, 则在丰水一般潮流模式下可勉强保证线路远端电压满足用户需要, 但在枯水潮流模式下将出现线路 5 电压严重降低的问题。

(2) 2 500 kvar 电抗器与 1 800 kvar 电容器的适用性

通过上面的分析可知, 在线路 5 远端安装电抗器和线路 7 远端安装电容器且均不退出运行的情况下, 固定式补偿方式要适用于 3 种潮流模式是不可行的。考虑到该区域均为农业用电, 对电压偏差的要求并不十分严格, 可以考虑使用容量稍小的无功补偿装置: 2 500 kvar 电抗器 (安装于线路 5 远端) 与 1 800 kvar 电容器 (安装于线路 7 远端) 进行无功治理。

这种固定式补偿方式在丰水 (线路 5 水满功率) 潮流模式下, 补偿效果如表 11 所示。

表 11 丰水 (线路 5 满负荷) 潮流模式 2 500 kvar 电抗器与 1 800 kvar 电容器无功调节后 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	0.994 6
2	1.046 2
3	0.960 9
4	0.989 3
5	1.078 6
6	1.075 7
7	0.914 5
8	0.953 7

对比表 8、表 11 可知, 在减小补偿装置容量的情况下, 本小节的治理措施对电压偏差的治理效果有所降低, 但是可以满足农村用电需要。

在两套补偿装置都不退出运行情况下, 丰水一般情况潮流模式下的补偿效果如表 12 所示。

在此种补偿方式下, 将会出现线路 7 远端电压下降严重的问题。可以考虑将线路 5 远端电抗器退出运行, 保留线路 7 补偿电容, 对应的补偿效果如表 13 所示。

表 12 丰水一般情况潮流模式 2 500 kvar 电抗器与 1 800 kvar 电容器无功调节后 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	0.9605
2	1.013 8
3	0.927 8
4	0.955 2
5	0.969 8
6	1.044 2
7	0.883 0
8	0.920 8

表 13 丰水一般情况潮流模式 1 800 kvar 电容器无功调节后 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	1.038 8
2	1.088 4
3	1.003 8
4	1.033 5
5	1.089 7
6	1.116 9
7	0.955 3
8	0.996 2

在仅保留 1 800 kvar 电容器的情况下, 枯水潮流方式下补偿效果如表 14 所示。

表 14 枯水潮流模式 1 800 kvar 电容器无功调节后 10 kV 出线电压分布

线路序号	实际电压/p.u.
1	1.034 9
2	1.076 3
3	1.018 3
4	1.031 3
5	0.992 3
6	1.101 9
7	0.984 0
8	1.003 0

通过本小节分析, 在适当减小无功补偿装置容量的情况下, 线路 7 用户端可保持电容器处于始终投运状态, 而线路 5 所连水电站中的电抗器可只在水电满负荷运行情况下投入, 这样的治理方案可基本满足以农村用电为主的配网系统无功补偿需要。

4 结束语

通过对复杂区域小型配网电压偏差治理措施对比分析, 得出如下结论:

(1) 对于线路较多的 10 kV 系统, 由于每条线路的具体情况不同, 在 10 kV 母线侧进行无功集中处理的

方式难以达到理想效果;

(2) 对于现有配网线路存在的电压抬升或降低问题, 应采用分布式补偿方式, 以应对配网线路用电负荷的不断变化;

(3) 偏远地区以农村用电为主要负荷的配网系统, 可以采用固定式无功补偿装置以降低电压偏差治理成本。

参考文献(References):

[1] 滕群生. 结合电网运行实际适当调整供电电压对农电 10 千伏配网节能降耗的意义[J]. 中国高新技术企业, 2011 (7): 128-130.

[2] 滕明元. 农网建设与改造配电线路的设计[J]. 中国高新技术企业, 2016(17): 36-37.

[3] 钱晓俊, 梁一桥, 汪卫国, 等. 10 kV 线路智能型串联补

偿工程应用与效能分析[J]. 输变电年会 2013 论文集, 2013(11):481-484.

[4] 沈刘玉, 余洪雷, 吴琳, 等. 含小水电配网电压分析及治理研究[J]. 通信电源技术, 2016, 33(4): 40-41.

[5] 杨玺. 提高江门电网配网电压质量方法研究[C]. 配电自动化新技术及其应用高峰论坛, 深圳: 全国电力系统管理及其信息员交换标准化技术委员会, 2013.

[6] 杨玺. 提高配网电压质量方法研究[J]. 电工技术, 2011(6): 27-30.

[7] 董洁, 赵国伟, 杜红卫, 等. 配网电压无功治理技术与发展趋势[C]. 中国电机工程学会电力系统自动化专业委员会三届三次会议暨 2013 年学术交流会, 南京: 中国电机工程学会, 2013.

[8] 赵科. 基于局部量测的配网无功与电压稳定优化控制方法研究[D]. 重庆: 重庆大学电气工程学院, 2013.

[编辑: 周昱晨]

本文引用格式:

刘红霞, 林琳, 管黄, 等. 配电网电压偏差治理措施对比分析[J]. 机电工程, 2017, 34(10): 1200-1204.

LIU Hong-xia, LIN Lin, GUAN Ti, et al. Comparative analysis of control measures for voltage deviation of distribution network [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(10): 1200-1204. 《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1195 页)

4 结束语

本研究对 10 kV 配电线路双回路杆塔进行拉线加固的效果进行了理论研究, 通过建立双回路杆塔的力学模型, 对电杆和导线进行静力分析, 推导出了电杆的轴力、弯矩和杆端挠度, 以及拉线拉力的解析表达式, 通过工程实例的分析, 计算了在 45 m/s 风速下杆塔加固前后的内力和挠度变化, 讨论了风速和拉线安装位置对加固效果的影响。研究表明:

(1) 安装拉线可以大大提高杆塔的抗风能力, 即使在超强台风作用下, 安装拉线电杆的弯矩和挠度都远远小于未加固电杆;

(2) 将拉线抱箍安装在最下层横担以下 0.5 m~0.8 m 处, 可以取得最佳加固效果。

参考文献(References):

[1] WANG Feng, LI Li Juan, LI Can bing, et al. Procedure and model of anti-disaster differentiated planning for a power distribution system[J]. Journal of Energy Engineering, 2016, 142(1): 1-8.

[2] 杨靖波, 李茂华, 杨风利, 等. 我国输电线路杆塔结构研究新进展[J]. 电网技术, 2008, 32(22): 77-83.

[3] 凌四海. 10 kV 架空电力线路的可靠性计算[J]. 电力建设,

2010, 22(3): 19-30.

[4] 潘彩容. 10 kV 军民输电线路电杆的受力分析[J]. 广东电力, 2008, 21(1): 47-79.

[5] 兰颖. 考虑台风影响的配电网可靠性评估和规划[D]. 重庆: 重庆大学电气工程学院, 2014.

[6] 中国南方电网. 配电线路防风设计技术规范[M]. 广州: 中国南方电网, 2013.

[7] 广东沿海地区电网防御台风技术标准及加固措施[M]. 广州: 广东电网公司, 2011.

[8] 罗俊平. 浅谈配网防风加强措施[J]. 南方电网技术, 2013, 7(3): 63-66.

[9] 陈永秋, 农少安, 杨玺, 等. 沿海地区低压架空线路防风加固技术措施探讨[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(5): 61-65.

[10] 李有铖, 樊灵孟, 罗俊平, 等. 南方电网公司防风技术体系的建立与应用[J]. 供用电, 2016, 33(9): 24-29.

[11] GB 50009-2012. 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

[12] DL/T 5220-2005. 10 kV 及以下架空配电线路设计技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

[13] 白国良, 刘明. 荷载与结构设计方法[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2010.

[14] GB/T 19201-2006. 热带气旋等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

[15] GB/T 4623-2006. 环形混凝土电杆[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

[编辑: 张豪]