

10 kV 线路无功补偿技术在农网中的应用分析

刘从洪, 邓晓林

(德阳电业局, 四川 德阳 618000)

摘要:无功补偿是节能降耗、改善电网电压质量、提高功率因数最方便、最经济有效的方法之一。随着农村用电负荷的迅速增长,部分供电半径大、负荷重的 10 kV 配电线路无法满足用户的需求,将线路无功补偿技术应用到 10 kV 农网线路中,是一种积极可行的手段。首先介绍了无功补偿的配置原则,然后介绍了 10 kV 线路无功补偿安装容量和安装位置的确定方法,最后介绍了 10 kV 线路无功补偿技术在德阳农网中的成功应用案例。

关键词:农网;无功补偿;应用;分析

Abstract: Reactive power compensation is one of the most convenient and cost-effective methods for saving energy, improving the voltage quality of power grid and increasing the power factor. With the rapid growth of rural electricity load, some 10 kV distribution lines with large radius of power supply and heavy load can not meet the needs of users. Applying the reactive power compensation to the circuit of 10 kV rural grid is an active and feasible means. The configuration principle of reactive power compensation is introduced firstly, and then the method to determine the installation capacity and installation location of reactive power compensation in 10 kV line is introduced. At last, the successful application cases of reactive power compensation for 10 kV line in Deyang rural power grid are introduced.

Key words: rural power grid; reactive power compensation; application; analysis

中图分类号: TM714 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)06-0040-03

0 引言

德阳是“5.12”地震的重灾区,灾后电网 10 kV 综合线损持续偏高、电压质量急剧下降、客户反映电压偏低的情况越来越多。为有效降低线损、提升供电质量,决定从管理和技术两方面入手解决,制定了一系列管理措施,取得了一定成效。但是部分负荷重、供电半径大的 10 kV 公用线路,线损仍然居高不下、电压质量偏低的状况未得到根本解决。经过全面细致地分析和现场查勘,决定在这些农网线路上加装线路无功补偿装置此项技术手段来实现降损、提高线路的传输功率和功率因数、提升供电质量的目的。

1 10 kV 农网线路无功优化和补偿的原则

目前国内配电系统无功补偿方式主要有:一是变电站集中补偿;二是线路无功补偿;三是低压集中补偿;四是用户终端分散补偿^[1]。以下主要讨论的是 10 kV 线路无功补偿方式,10 kV 农网线路无功补偿配置应遵循以下原则。

(1)确定线路无功补偿方案时应遵循“全面规划、合理布局、分散补偿、就地平衡”和“集中补偿与分散补偿相结合,以分散补偿为主”的原则,以提高功率因数、损耗最小、提高末端电压、年运行检修费用最小等为目标^[2]。

(2)配电网的无功补偿以配电变压器低压侧集中补偿为主,以高压补偿为辅。配电变压器的无功补偿装置容量可按变压器最大负载率为 75%,负荷自然功率因数为 0.85 考虑,补偿到变压器最大负荷时其高压侧功率因数不低于 0.95,或按照变压器容量的 20%~40%进行配置。

(3)配电线路上装设的并联电容器在线路最小负荷时不应向变电站倒送无功。如配置容量过大则必需装设自动投切装置。

2 10 kV 农网线路的无功补偿

2.1 补偿方式的种类

10 kV 线路无功补偿主要补偿线路感性电抗所消耗的无功功率和配电变压器励磁无功功率损耗。线路无功补偿装置可选用无功功率、功率因数、电压、

时间、无功电流等各种不同的投切控制方式^[3]。10 kV 线路无功补偿的典型应用模式主要有四类:混合补偿(即“固补+动补”)、全自动补偿、固定补偿和滤波式补偿。

2.2 确定最佳补偿度、安装位置的方法

10 kV 线路中的无功补偿装置目前一般是固定投入,为了最大限度地减少配电线路的电能损耗,使其补偿获得最佳效果,分散补偿的电容器在线路上的安装位置应尽量合理,一般可通过下列公式计算、确定电容器安装组数、最佳安装位置和损耗下降率之间的关系为

$$Q_x = 2nQ(2n+L)$$

$$\Delta(\Delta P)\% = 4n(n+L)/(2n+L)^2 \times 100\%$$

式中, Q_x 为线路所补偿的电容器容量; $\Delta(\Delta P)\%$ 为线路线损的下降率; L 为线路长度。

通过计算得到配电线路所补偿的电容器分组数、安装位置及线损下降率之间的关系,见表 1。

表 1 线路负荷呈均匀分布时电容器安装位置表

电容器 分组数	电容器安装位置			降低线损百分数 /%
	第一组	第二组	第三组	
1	2/3	/	/	88.9
2	4/5	2/5	/	96.0
3	6/7	4/7	2/7	98.0

从上表可见,线路上安装电容器组数越多,降损效果也越好。但所安装的电容器装置往往受成本的限制,为了提高电容器组的补偿效益及减少投资,电容器组的布点不宜过多,一般按 1~3 个考虑即可。农网线路供电半径一般不超过 15 km,当线路长度为 1~5 km 时,可在其 2/3 处安装一组补偿电容;当线路长度为 5~10 km 时,可分别在其 2/5 和 4/5 处各安装一组补偿电容;当线路长度为 10~15 km 时,可分别在其 2/7、4/7 和 6/7 处安装一组补偿电容。

2.3 计算无功补偿容量和确定分散补偿容量

(1) 从提高功率因素计算线路无功补偿容量

如果电力网最大负荷日的平均有功功率为 P_{pj} , 补偿前的功率因数为 $\cos\varphi_1$, 补偿后的功率因数为 $\cos\varphi_2$, 则补偿容量可用下述公式计算。

$$Q_c = P_{pj}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

$$= P_{pj} \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_2} - 1} \right)$$

式中, Q_c 为所需补偿容量; P_{pj} 为最大负荷日平均有功功率; $\cos^2\varphi_1$ 为最大负荷日平均功率因数; $\cos^2\varphi_2$ 为

功率因数期望值。

通常,将功率因素从 0.9 提高到 1 所需的补偿容量与将功率因素从 0.72 提高到 0.9 所需的补偿容量相当。因此,在高功率因数下进行补偿其效益将显著下降。这是因为在高功率因数下,功率因数的上升率变小,因此在实际的应用中,根据实际情况确定功率因数的期望值。

(2) 分散补偿容量确定方法

10 kV 线路上需要安装的补偿并联电容器的容量,应根据线路布局,以最佳降损为原则,通过计算确定。一般可按各条分支线的负荷电流来计算补偿容量,即

$$Q_{x1} = \frac{I_1}{I} Q_x \quad Q_{x2} = \frac{I_2}{I} Q_x \cdots Q_{xn} = \frac{I_n}{I} Q_x$$

式中, I_1, I_2, \dots, I_n 为各分支线首端负荷电流(A),如图 1 所示。

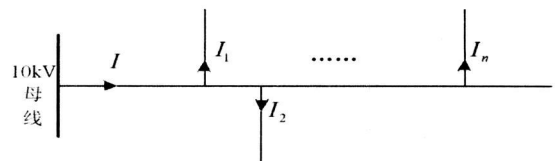


图 1 各分支线首端负荷电流图

I 为线路首端的总电流(A);

Q_x 为线路需要补偿的容量(kvar)

$Q_{x1}, Q_{x2}, \dots, Q_{xn}$ 为各分支线需要补偿的容量(kvar)。

一般情况下,对于负荷均匀分布或接近均匀分布的线路:①当安装 1 组电容器时,其容量为线路平均无功功率的 2/3;②当安装 2 组电容器时,每组容量为线路平均无功功率的 2/5;③当安装 3 组电容器时,每组容量为线路平均无功功率的 2/7;也就是说,按网损最小的原则,每条 10 kV 线路所需补偿的总容量应按一定比例分配。一般首端补偿容量(即变电站为本线路首端提供的补偿容量)与线路上各分布点上的补偿容量之间的比例为

$$\textcircled{1} \text{ 当安装 1 组电容器时,容量比为 } \frac{1}{3} : \frac{2}{3};$$

$$\textcircled{2} \text{ 当安装 2 组电容器时,容量比为 } \frac{1}{5} : \frac{2}{5} : \frac{2}{5};$$

$$\textcircled{3} \text{ 当安装 3 组电容器时,容量比为 } \frac{1}{7} : \frac{2}{7} : \frac{2}{7} : \frac{2}{7}.$$

在实际 10 kV 线路中,线路负荷分布往往不均匀,因此在确定分散补偿容量时,需根据实际线路负荷分布情况,灵活运用上述方法确定分散补偿容量。

表 2 线路参数及负荷情况表

线路名	长度 /km	配变台数 /台	配变容量 /kVA	有功电量 /MWh	无功电量 /MWh	功率因数	最高负荷 /MW	最小负荷 /MW	平均负荷 /MW
线路 a	11.5	95	9 665	1 398.9	873.4	0.848	3.79	1.15	1.87
线路 b	14.6	111	10 760	1 595.6	1 076.5	0.828	3.88	1.36	2.12
线路 c	8.9	87	9 115	1 188.7	763.2	0.841	2.89	0.85	1.54

表 3 线路无功补偿技术实施前后效果表

	2009年 上半年	2010年 上半年	2009年 上半年	2010年 上半年	2009年 上半年	2009年 上半年
	线路 A		线路 B		线路 C	
线损率 /%	26.83	19.86	23.80	13.02	26.57	16.67
降损百分比 /%		25.97		45.29		37.2%
功率因素	0.851	0.948	0.812	0.964	0.838	0.962
节约电量 /kWh	614 057		837 606		478 170	
节约电费 /元	305 800.38		417 127.78		238 128.66	

3 补偿案例及效益分析

3.1 补偿线路现状及参数

通过对所管辖 10 kV 农网线路基本情况进行分析,作为试点,选择以下三条线路:线路 A、线路 B 和线路 C 进行线路无功补偿技术的实施,三条线路的基本参数及 2009 年 8 月份负荷情况见表 2 所示。

3.2 补偿方式确定

考虑到三条农网线路供电半径较长,有功负荷较重,无功负荷比较稳定且有一定的无功量叠加起伏,因此选用混合补偿(即“固补+动补”)的方式,在电路上进行分散补偿。

3.3 补偿容量确定

线路 A 配电变压器容量为 9 665 kVA,线路配电变压器无功损耗为固定损耗,损耗因素主要为配电变压器的励磁涌流,故线路 A 的固定无功损耗为 387 kvar(配电变压器的励磁涌流为 4%~5%)。如果要将功率因数提高到 0.95 则需要补偿容量为

$$Q_c = P_{pj}(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = P_{pj} \left(\frac{1}{\sqrt{\cos^2 \varphi_1} - 1} - \frac{1}{\sqrt{\cos^2 \varphi_2} - 1} \right)$$

$$= 139.89 \times 10^4 / (24 \times 31) \times \left(\frac{1}{\sqrt{0.848^2} - 1} - \frac{1}{\sqrt{0.95^2} - 1} \right) = 592 \text{ kvar}$$

通过计算,线路 A 共需补偿容量近似取为 600 kvar 其中固定补偿部分近似取为 350 kvar 动态补偿部分近似取为 250 kvar

同理可以求得线路 B 和线路 C 的无功补偿容量分别为:750 kvar(固补:400 kvar 动补:350 kvar),500 kvar(固补:350 kvar 动补:150 kvar)。

3.4 补偿装置安装位置及分散补偿容量确定

考虑到线路 A 长为 11.5 km,大于 10 km,线路 A 负荷分布中端负荷比线路首端和尾端重一些,因此,综合考虑下将无功补偿装置安装在线路 A 的 2/7、4/7、6/7 处,各处相应的补偿容量分别为固补 150 kvar 动补 250 kvar 固补 200 kvar 同理可以设置线路 B 和线路 C 的补偿装置安装位置和容量。

3.5 效益分析

线路无功补偿装置于 2010 年 1 月在三条农网线路成功投运,表 3 为三条线路 2010 年上半年与 2009 年下半年的实施效果对比,可以看出线路加装补偿装置后,使电网降低了损耗,提高了线路的功率因数,提高了电压质量,为企业提升优质服务、树立社会形象具有积极的意义。

4 结束语

该项目自 2010 年年初启动以来,取得了良好的效果,并且在 7 月份已成功通过专家组验收,作为试点项目的成功运行,项目组还编制了《35 kV 变电站及其 10 kV 配电线路无功补偿配置技术规范》,为 10 kV 线路无功补偿技术在省内大规模应用奠定了良好的基础。

参考文献

- [1] 刘建强. 配电网四种无功补偿技术方案比较 [J]. 电工技术杂志, 2003(3): 31-34.
- [2] 倪健立, 马放端. 农村电网节能降损与自动化适用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [3] 肖崇礼. 正确选用柱上无功补偿装置的投切方式 [D]. 2003 年电力电容器学术论文集, 2003: 25-30.

作者简介:

刘从洪(1981),男,硕士,工程师,从事电网电力调度工作;
邓晓林(1971),男,本科,工程师,从事电网电力调度工作。
(收稿日期:2010-08-10)