

# 35kV 变电站电压无功综合控制

张俊芳,康明才,都洪基,孔春娟

(南京理工大学,江苏 南京 210094)

**摘要:** 根据变电站功率因数和母线电压的要求范围,阐述了变电站电压无功分区控制原理,针对各个控制区域给出相应的调节策略,并将其用于南京理工大学 35kV 变电站,实现电压无功功率的综合控制。

**关键词:** 电压无功控制; 变压器分接头; 补偿电容器

中图分类号: TM761+.1

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2002)04-0019-03

## 1 引言

电压是电能主要质量指标之一,电压质量对电网稳定及电力设备安全运行有着重要的意义,而无功是影响电压质量的一个重要因素。为了电力系统的高效可靠运行,必须对电压和无功进行控制。变电站是集中安装无功功率补偿和调压设备的主要场所,各级变电站担当着电压和无功调节的重要任务。

本文介绍一种变电站电压无功分区控制理论,即根据变电站二次侧母线电压及进线端功率因数的要求,将运行情况分为九个区间,针对各个运行区间给出相应的控制策略。根据南京理工大学 35kV 变电站的运行情况,进行分析控制。

## 2 电压无功调节

### 2.1 电压调节

电压调节主要有发电机调压、变压器调压、改变无功分布调压和改变元件电阻电抗调压。在变电站中主要采用变压器的有载调压,通过切换变压器分接头来进行调压的。有载调压适用于长线路供电、负荷变动较大的情况。它的调压范围比较大,而且可以随时调整,不影响供电,容易满足电力用户对电压偏差的要求。

### 2.2 无功补偿方式

无功补偿设备有并联电容器、并联电抗器、同步调相机、静止补偿器和静止无功发生器等。在变电站中主要装设并联电容器组来进行无功补偿。

并联电容器是电网中应用最多的一种专用无功功率补偿设备,它的特点是价格便宜、易于安装维护。

## 3 无功补偿的确定

### 3.1 确定最大无功补偿容量的方法

最大无功补偿容量要根据配电网的运行指标要

求来确定。如图 1 所示。

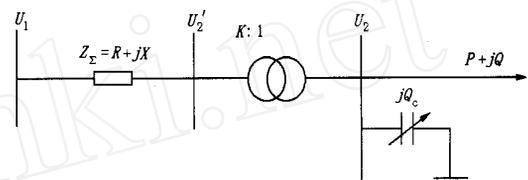


图 1 系统等值电路图

在确定最大电容器的补偿容量  $Q_c$  时,按两步进行:

第一步,按最小负荷无电容补偿时,根据  $U_1 = U_{2Lmin} + (PR + QX) / U_{2Lmin}$  式求出  $U_{2Lmin}$ ,则变比  $K = U_{2Lmin} / U_{2N}$ ,按此选一实际分接头  $K = U_{1t} / U_{2N}$ 。

第二步,先按最大负荷无电容补偿时,根据  $U_1 = U_{2Lmax} + (PR + QX) / U_{2Lmax}$  式求出  $U_{2Lmax}$ ,再按装设补偿电容后要求的低压侧电压及第一步确定的变压器变比,根据式  $Q_c = (U_{2Lmax} / X) \times (U_{2Lmax} - U_{2Lmax} / K)^2$  计算出补偿电容的容量。

考虑应留有一定的事故备用补偿容量,则实际装设的补偿电容器容量应略大于  $Q_c$ 。

### 3.2 电容器组的分组及投切

#### 3.2.1 电容器的分组

电容器按每组的容量相同进行分组,根据变电站的实际无功负荷的大小、落差,来确定大约分组数,将最大补偿量除以分组数,即为每组容量。

#### 3.2.2 电容器组的投切

传统的电容器组多数采取“顺序投切”方式,这种投切方式会减少电容器组的使用寿命。

合理的投切方式应为“循环投切”,这种投切方式使先投入运行的电容器组先退出,后投的后切除,从而使各组电容器及投切开关使用机率均等,降低了电容器组的平均运行温度,减少了投切开关的动作次数,延长了使用期限。

## 4 变电站无功电压综合控制原理

### 4.1 分区调节原理

在变电站中,功率因数和母线电压有一个允许的范围,根据这个范围可以对电压和无功进行分区控制。以变电站进线端功率因数  $\cos\phi$  为横坐标,二次侧母线电压  $U_2$  为纵坐标,划分为 9 个区域,如图 2 所示,其中“0”区间是满足要求的理想区间,不需要任何调节,其它各个区域的运行参数都不满足条件,必须根据各个区间的实际情况进行调节,使运行状态尽可能地处于“0”区间。

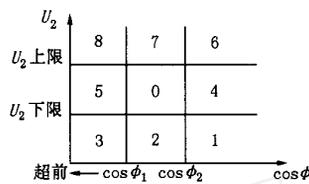


图 2  $U_2$ - $\cos\phi$  平面图

### 4.2 各区调节情况

1 区间:电压偏低、无功不足,则先投入补偿电容器,再往下调节变压器分接头。

2 区间:电压偏低、功率因数满足要求,则只要往下调节变压器分接头即可。若变压器已无法调节时电压仍低于下限,则强行投入补偿电容器。

3 区间:电压偏低、而功率因数超前,即无功倒送入电网,则首先应切除部分补偿电容器,再往下调节变压器分接头。

4 区间:电压满足要求、而功率因数偏低,则只要投入补偿电容器组即可。

5 区间:电压满足要求、而功率因数超前,则只要切除部分电容器组即可。

6 区间:电压偏高、无功不足,则首先应往上调节变压器分接头,使电压下降(以免电能质量变坏),再投入补偿电容器组。

7 区间:电压偏高、功率因数满足要求,则只要往上调节变压器分接头即可。若变压器已无法调节时电压仍高于上限,则强行切除部分补偿电容器组。

8 区间:电压偏高,而功率因数超前,则首先切除部分补偿电容器组,再往下调节变压器分接头。

## 5 南京理工大学 35kV 变电站的电压无功控制

南京理工大学 35kV 变电站的进线导线型号 LG185/30,变压器型号 SZ7-2500/35,将 35kV 降至 10kV 供校区用电。变压器有 7 个分接头,即  $35 \pm 3$

$\times 2.5\% / 10.5$ ,其分接头对应的变比如表 1 所示:

表 1 变压器变比

$U_{1t}$	$K = U_{1t} / U_{2N}$	$U_{1t}$	$K = U_{1t} / U_{2N}$
$35 \times (1 + 3 \times 2.5\%)$	3.5833	$35 \times (1 + 2 \times 2.5\%)$	3.5
$35 \times (1 + 1 \times 2.5\%)$	3.4167	35	3.3333
$35 \times (1 - 1 \times 2.5\%)$	3.25	$35 \times (1 - 2 \times 2.5\%)$	3.1667
$35 \times (1 - 3 \times 2.5\%)$	3.0833		

### 5.1 变电站无功补偿总容量的确定

已知变电站最大负荷为夏季运行  $S_M = 4.2 + j2.1$ MVA,最小负荷为深夜运行  $S_m = 0.49 + j0.28$  MVA,根据 3.1 中的方法求出  $Q_C = U_{2CLMAX} (U_{2CLMAX} - U_{2LMAX} / K)^2 / X = 0.913$ Mvar。

考虑到事故备用无功功率补偿,则变电站最大无功补偿量定为 1Mvar。并且令每组容量为 100kvar,共分 10 组。

### 5.2 分区原则

根据规定,35~110kV 变电站最大负荷时,功率因数  $\cos\phi$  不小于 0.9,所以将功率因数的下限定为 0.9,而上限则为  $\cos\phi = 1$ 。

该变电站要求的二次侧的母线电压范围为 9.7~10.5kV,所以电压下限定为 9.7kV,上限定为 10.5kV。

### 5.3 各区运行情况分析

从南京理工大学 35kV 变电站全年的实际运行情况来看,大多数都处在图 2 中的“0”区间,但是在一些特殊情况下也会运行在其它八个区间。下面以 1 区间和 8 区间为例进行分析计算,给出具体的电压无功综合控制策略。

(1)在夏季用电高峰时负荷最大,二次侧母线电压较低,所以进线电压低于正常电压。

运行参数为:  $S = P + jQ = 4.2 + j2.1$ MVA

$$U_1 = 34.5\text{kV} \quad U_2 = 9.4\text{kV}$$

线路损耗为  $S = 0.171 + j0.774$ MVA,则线路首端功率为  $S_1 = S + S = 4.371 + j2.874$ MVA

功率因数为  $\cos\phi = \cos\text{tg}^{-1} Q / P = 0.8356 < 0.9$

又因为  $U_2 = 9.4\text{kV} < 9.7\text{kV}$

所以运行在 1 区间,首先应该投入补偿电容器。按功率因数达到 0.9 计算,则补偿容量为

$$Q_C = P(\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi_2) = P(Q / P - \text{tg}\cos^{-1}0.9) = 0.757\text{MVA}$$

则在二次侧实际投入 8 组电容器组,补偿容量为 800kVA。

这时线路损耗为  $S = 0.15 + j0.6785$ MVA,线

路首端功率为  $S_1 = S + S = 4.35 + j1.9785\text{MVA}$   
功率因数为  $\cos\phi = \cos\text{tg}^{-1}Q/P = 0.91 > 0.9$   
归算到高压侧的低压侧电压为

$$U_2 = U_1 - (P_1 R + Q_1 X) / U_1 = 30.8362\text{kV}$$

此时应选择合适的变压器分接头,查表1。

若选  $K = 3.1667$  则  $U_2 = U_2 / K = 9.783$   
正好满足条件。

若选  $K = 3.0833$  则  $U_2 = U_2 / K = 10.00$   
也满足条件。

因为实际电容器组为  $1\text{MVA}$ ,所以无法达到  
 $\cos\phi = 1$ 。

如果投入全部电容器组,即  $Q_C = 1\text{MVA}$ ,则线路功率  
损耗为  $S = 0.146 + j0.662\text{MVA}$ ,线路首端功率为  
 $S_1 = S + S = 4.346 + j1.762\text{MVA}$ ,功率因数为  $\cos\phi =$   
 $\cos\text{tg}^{-1}Q/P = 0.9267 > 0.9$ 。归算到高压侧的低压侧电  
压为  $U_2 = U_1 - (P_1 R + Q_1 X) / U_1 = 31.11\text{kV}$ 。

选择合适的变压器分接头,查表1。

当  $K = 3.1667$  时,  $U_2 = U_2 / K = 9.82$

$K = 3.0833$  时,  $U_2 = U_2 / K = 10.09$  都满足条  
件。

可见,投入  $8 \sim 10$  组电容器组都能满足条件。  
调节方式如下表2。

表2 1 区间调节方式

投入组数	$Q_C(\text{MVA})$	变比 $K$	分接头型号	$\cos\phi$	$U_2(\text{kV})$
8	0.8	3.1667	- 2 $\times 2.5\%$	0.91	9.738
8	0.8	3.0833	- 3 $\times 2.5\%$	0.91	10.00
9	0.9	3.1667	- 2 $\times 2.5\%$	0.9186	9.78
9	0.9	3.0833	- 3 $\times 2.5\%$	0.9186	10.045
10	1	3.1667	- 2 $\times 2.5\%$	0.9267	9.82
10	1	3.0833	- 3 $\times 2.5\%$	0.9267	10.09

(2) 当深夜 3、4 点时,用电负荷非常小,而进线  
端电压却偏高。

运行参数为:  $S = P + jQ = 0.49 + j0.28\text{MVA}$

$$U_1 = 36.5\text{kV} \quad U_2 = 10.8\text{kV}$$

原  $Q_C = 0.3\text{MVA}$

因为  $Q_C > Q \quad U_2 > 10.5$

所以运行在 8 区间。分析计算过程同上,计算结果  
如表 3 所示。

表3 8 区间调节方式

切除组数	$Q_C(\text{MVA})$	变比 $K$	分接头型号	$\cos\phi$	$U_2(\text{kV})$
2	0.1	3.5833	+ 3 $\times 2.5\%$	0.933	10.09
2	0.1	3.5	+ 2 $\times 2.5\%$	0.933	10.33
1	0.2	3.5833	+ 3 $\times 2.5\%$	0.984	10.12
1	0.2	3.5	+ 2 $\times 2.5\%$	0.984	10.36

## 6 结论

本文根据变电站中进线端功率因数和二次侧母  
线电压的要求,阐述了电压无功分区控制理论。考  
虑变压器分接头的变化和电容器组的投切对无功和  
电压的综合影响,针对电压和无功的各种运行区间,  
给出了相应的调节策略,并应用于南京理工  $35\text{kV}$  变  
电站。针对该变电站的典型运行情况,进行了分析  
计算,给出了相应的电压无功控制方法,从而达到供  
电质量要求。

## 参考文献:

- [1] 何利铨,邱国跃. 电力系统无功功率与有功功率控制  
[M]. 重庆:重庆大学出版社,1995.
- [2] 马维新. 电力系统电压[M]. 北京:中国电力出版社,  
1998.
- [3] 严浩军. 变电站电压无功综合控制策略的改进[J]. 电  
网技术,1997(10):39~42.
- [4] 米勒 T J E. 电力系统无功功率控制[M]. 北京:水利电  
力出版社,1990.
- [5] 靳龙章,丁毓山. 电网无功补偿实用技术[M]. 北京:中  
国水利水电出版社,1997.

收稿日期: 2001-09-04

作者简介: 张俊芳(1965-),女,硕士,讲师,研究方向为电  
力系统规划与配网自动化; 康明才(1962-),男,讲师,从  
事电器与电子的教学研究工作; 都洪基(1960-),男,副教  
授,主要研究方向为电力系统继电保护。

## The voltage and reactive power integrated control in 35kV substations of NJUST

ZHANG Jun-fang, KANG Ming-cai, DU Hong-ji, KONG Chur-juan

(Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** According to the power-factor and the bus voltage, the principle of substations control is analyzed. The regulating tactics are provided on different control zone, according to integrated influence of voltage and capacitor action. Its application in NJUST 35kV substation shows that the method is effective.

**Keywords:** voltage and reactive power control; transformer tap; compensation capacitor