

文章编号:1671-6833(2010)03-0033-05

## 20 kV 配电电压等级的接地方式研究

陈根永<sup>1</sup>, 侯永将<sup>1</sup>, 杨凤民<sup>2</sup>, 刘峰<sup>2</sup>, 张延辉<sup>2</sup>

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州供电公司, 河南 郑州 450053)

**摘要:** 针对 20 kV 城市电缆配电网出现的单相接地故障电流增大以及接地后过电压问题, 研究适合 20 kV 配电不同网络结构的中性点接地方式。通过对 20 kV 配电网中性点不接地、经消弧线圈接地、经电阻接地 3 种方式进和接地故障稳态分析、暂态分析和系统参数分析, 并与 10 kV 配电网接地方式相比较, 说明 20 kV 配电网接地方式应用范围, 当系统电容电流小于 10 A 时可采用中性点不接地方式; 当系统电容电流在 10~15 A 之间时可采取消弧线圈接地方式; 当系统电容电流在 100~1 000 A 之间时可采用低电阻接地方式; 算例分析表明 20 kV 电缆配电网宜采用中性点经低电阻接地方式。

**关键词:** 中性点接地方式; 单相接地故障; 消弧线圈; 电容电流; 过电压; 配电网

**中图分类号:** TU528 **文献标识码:** A

### 0 引言

为了提高配网供电可靠性, 中压配电网一般采用小电流接地方式, 即: 中性点不接地方式、中性点经消弧线圈接地方式、中性点经低电阻接地方式<sup>[1-2]</sup>。3 种接地方式各有其优缺点及适用范围。对 20 kV 配电网, 由于配电电压升高, 尤其是城市电缆配网, 单相接地电流将会大幅提高, 从而使配电网面临更多问题, 因此研究适合 20 kV 配电网不同网络结构的中性点接地方式, 可以为城市配网电压升级中性点接地方式选择以及相关电气设备的选择提供理论依据。

### 1 中性点不接地方式

配电网中性点不接地方式, 是指配电网的中性点与大地绝缘的一种运行方式。发生单相接地故障时, 由于配电网中性点不接地运行, 线电压仍保持对称, 单相接地电流相对较小, 对用户供电基本无影响, 对邻近的通信线路、信号系统等的干扰也较小, 可继续运行一段时间而不跳闸, 这是中性点不接地方式的最大优点。但由于非故障相对地电压升高, 需要在较短时间(2 h)内切除故障, 以免发展成相间短路, 对设备造成损害<sup>[3-4]</sup>。

单相接地电流是故障以后所在系统非故障相

的对地电容电流, 而非短路电流, 当线路总长较小时, 其数值较小, 不易形成稳定的接地电弧, 一般均能迅速自动熄灭而无需跳闸。而当线路较长或电缆线路较多时, 单相接地故障电流较大(例如电缆较多的城网接地电容电流可达数百安培), 形成持续电弧或产生间歇电弧引起弧光过电压。因此该方式仅适用于电容电流不大的配电系统。

#### 1.1 中性点不接地方式的系统参数分析

##### 1.1.1 单相接地故障稳态分析

20 kV 配电网中性点不接地系统如图 1 所示, 当某一出线的 C 相发生单相接地故障, 不计系统及线路阻抗, 可得零序等值电路如图 2 所示, 其中  $\dot{U}_0$  为发生单相接地故障时接地点零序电压。

若  $C_0$  为所在电压等级的单相等值电容, 则

$$\dot{I}_0 = j\omega C_0 \dot{U}_0 \quad (1)$$

接地点流过的故障电流为

$$\dot{I}_k = 3 \dot{I}_0 = \dot{U}_0 \cdot j\omega 3C_0 \quad (2)$$

故障电流幅值为

$$I_k = |\dot{I}_k| = 3U_\phi \omega C_0 \quad (3)$$

式中:  $\dot{U}_0$  与 C 相电源电压方向相反,  $U_\phi$  为相电压有效值。对 20 kV 配电网, 设  $D$  为所在母线出线总长度,  $C_0'$  为单位长度电容值, 则<sup>[5-6]</sup>:

收稿日期: 2010-01-08; 修订日期: 2010-01-21

作者简介: 陈根永(1964-), 男, 河南禹州人, 郑州大学副教授, 硕士生导师, 主要从事电力系统运行与规划, 继电保护, 电能计量领域的教学与研究, E-mail: cgyfyx@zzu.edu.cn.

$$\begin{aligned}
 I_k &= 2\pi f 3C'_0 U_\phi D \times 10^{-6} \\
 &= 314 \times 3C'_0 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-3} D / \sqrt{3} \\
 &= 10.88 C'_0 D
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

非故障相电压数值上等于线电压:

$$U_A = U_B = \sqrt{3} U_\phi \tag{5}$$

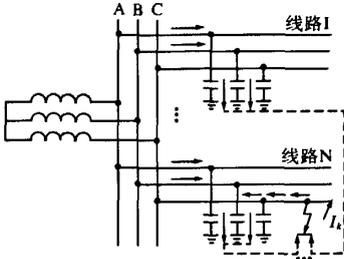


图1 20 kV中性点不接地系统三相线路示意图  
Fig.1 Three-phase circuit diagram of the 20 kV neutral insulated grounding system

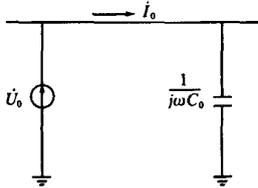


图2 20 kV中性点不接地系统单相接地故障零序等值电路  
Fig.2 Zero-sequence equivalent circuit of single-phase to ground fault in the 20 kV neutral insulated grounding system

1.1.2 单相接地故障暂态分析

根据工频熄弧理论,当配网发生单相接地故障时,接地点将产生间歇性电弧接地过电压.对于中性点不接地方式,故障相C相产生的过电压为:

$$U_C = (1.5 \sim 2.5) U_\phi \tag{6}$$

非故障相过电压分别为:

$$U_A = U_B = (2.5 \sim 3.5) U_\phi \tag{7}$$

1.2 中性点不接地方式适用范围

配电网采用中性点不接地方式,其优点是:当接地故障电流小于10 A时,电弧能自行熄灭.因此,这种接地方式适合于纯架空线路且电容电流小于10 A的配电网<sup>[7-9]</sup>.

缺点:产生电弧间歇性过电压,这种过电压持续时间长,会对设备的安全和绝缘造成威胁;甚至造成绝缘薄弱点击穿,而导致两相接地故障;并且,这种接地方式存在铁磁谐振过电压问题.

当接地故障电流不超过DLT620-1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》中规定的数值,又需在单相接地故障条件下短时运行时,可采用不接地方式.对于20 kV配电网中性点接地方

式而言,如果系统的电容电流小于10 A,则可以采用中性点不接地方式,但从上述分析可见,由于电压升高一倍,与10 kV系统相比,20 kV接地电流增大一倍.

2 配电网中性点经消弧线圈接地方式

配电网中性点经消弧线圈接地方式,也称谐振接地方式.当发生单相接地故障时,消弧线圈中形成一个与接地电容电流方向相反的电感电流,它与电容电流相互补偿,使接地点电流减小或等于零,从而消除接地处的电弧及其危害.同时电流过零电弧熄灭后,消弧线圈的存在还可以显著减小故障相电压的恢复速度,减小重燃的可能性.谐振接地方式也限制了非故障相的工频电压升高,对单相接地故障不需要立刻跳闸,按规程规定电网可运行2 h,提高了供电可靠性.

2.1 配电网消弧线圈接地系统参数分析

2.1.1 单相接地故障稳态分析

20 kV配电网中性点经消弧线圈接地的三相系统如图3所示.假设C相发生单相接地故障,不计系统自身阻抗,则系统的零序等值电路如图4所示,其中 $\dot{U}_0$ 为接地点零序电压, $L$ 为消弧线圈的电感值, $C_0$ 为所在电压等级单相对地等值电容, $\dot{i}_{L0}$ 为通过中性点消弧线圈的零序电流, $\dot{i}_{C0}$ 为通过电容的零序电流, $\dot{i}_k$ 为经消弧线圈补偿后的由接地点流回的残余电流.

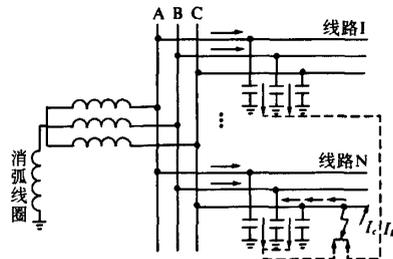


图3 20 kV中性点经消弧线圈接地系统三相线路示意图  
Fig.3 Three-phase circuit diagram of the 20 kV neutral grounding system via arc-suppression coil

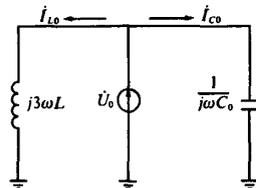


图4 20 kV中性点经消弧线圈接地零序等值电路  
Fig.4 Equivalent circuit of zero-sequence in the 20 kV neutral grounding system via arc-suppression coil

则单相故障时系统的残余电流,也即接地故障点处的故障电流,为

$$\dot{I}_k = \dot{U}_0 \cdot (j\omega 3C_0 + \frac{1}{j\omega L}) \quad (8)$$

零序电压为

$$\dot{U}_0 = -\dot{U}_c \quad (9)$$

其中  $\dot{U}_c$  为 C 相电源电压。

则故障点电流为

$$I_k = |\dot{I}_k| = U_0 \cdot (\omega 3C_0 - \frac{1}{\omega L}) = I_{c\Sigma} - I_L \quad (10)$$

定义:

$$\nu = \frac{I_{c\Sigma} - I_L}{I_{c\Sigma}} \quad (11)$$

为补偿电网或消弧线圈的失谐度。由式(8)可知,消弧线圈的补偿作用,使得故障处的接地电流数值显著减小电流过零时,接地电弧较容易熄灭。

调节电感参数,可以使消弧线圈在以下3种方式下运行:①全补偿(电感电流等于系统的对地电容电流,理想状态下故障点电流为零);②欠补偿(电容电流大于消弧线圈的电感电流,补偿后的残流存在容性电流分量);③过补偿(对地电容电流小于消弧线圈产生的电感电流,补偿后的残流存在感性电流分量)<sup>[10-11]</sup>。

### 2.1.2 单相接地故障暂态分析

根据工频熄弧理论,配电网单相接地故障时故障相和非故障相都将产生间歇电弧接地过电压。对于中性点消弧线圈接地方式,故障相 C 相产生的过电压为

$$U_c = (1.5 \sim 2.5) U_\phi \quad (12)$$

非故障相 A 相和 B 相过电压为

$$U_A = U_B = (2.5 \sim 3.5) U_\phi \quad (13)$$

若考虑电流泄漏、衰减以及相间电容的影响,非故障相的最大暂态过电压可达  $3.2 U_\phi$ 。

### 2.1.3 系统参数分析

根据式(8)可知,发生单相接地故障时,若消弧线圈的电感电流完全补偿系统的对地电容电流,则接地点故障电流达到最小,即全补偿运行方式。但是这种方式下,当系统正常运行时,易构成串联谐振回路,造成中性点产生位移电压。

在欠补偿方式下,若发生线路故障跳闸或出现非全相运行,造成系统电容减小后,消弧线圈可能进入全补偿状况,同上也会形成串联谐振。

因此,在配电网中,一般情况下,消弧线圈运行在过补偿状态。

## 2.2 配电网消弧线圈接地主要适用范围

配电网采用中性点经消弧线圈接地方式,其优点是消弧线圈的电感电流可抵消接地点的电容电流。其缺点是发生单相接地故障时,非故障相对地电压升高,因此要求线路和设备具有较高的耐压水平。

消弧线圈接地方式广泛应用于 10~66 kV 的中压配网。对于 20 kV 配电网而言,当电容电流大于 10 A 小于 150 A 时,一般需采用消弧线圈接地方式。

## 3 配电网中性点电阻接地方式

中性点经电阻接地方式,由于电阻是耗能元件,也是电容电荷释放元件和谐振的阻压元件,对防止谐振过电压和间歇性电弧接地过电压有一定优越性。

阻性接地的运行方式在发生单相接地时,较大的接地电流可能产生较高的接触电压和跨步电压,对设备和人身造成威胁,并对周围通信线路造成干扰。再者阻性接地运行方式下,单相接地保护动作跳闸,增加了故障跳闸次数,使停电时间增加,降低了供电可靠性。

### 3.1 配电网阻性接地系统参数分析

#### 3.1.1 单相接地故障稳态分析

20 kV 配电网中性点阻性接地方式等值电路如图 5 所示。C 相发生接地故障的系统零序等值

电路如图 6 所示。其中  $\dot{U}_0$  为单相接地故障时中性点零序电压,  $R_n$  为中性点接地电阻,  $\dot{I}_n$  为通过  $R_n$  的电流,  $\dot{I}_{c0}$  为通过电容的电流,  $\dot{I}_0$  为零序全电流。

则单相故障时系统的零序电流为

$$\dot{I}_0 = \dot{U}_0 \cdot (j\omega C_0 + \frac{1}{3R_n}) \quad (14)$$

零序电压:

$$\dot{U}_0 = -\dot{U}_c \quad (15)$$

其中,  $\dot{U}_c$  为 C 相电源电压。

则故障电流值为

$$I_k = 3|\dot{I}_0| = U_0 \sqrt{(3\omega C_0)^2 + (\frac{1}{R})^2} \quad (16)$$

#### 3.1.2 单相接地故障暂态分析

根据工频熄弧理论,系统单相故障时将产生间歇电弧接地过电压。对于中性点阻性接地方式,故障相 C 相产生的过电压为

$$U_c = U_\phi (1.5 + e^{-\frac{0.01}{3CR_n}}) \quad (17)$$

非故障相过电压为

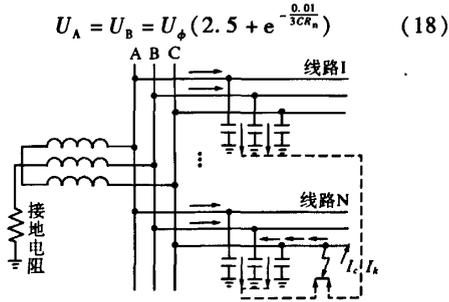


图5 20 kV 中性点阻性接地系统三相线路示意图

Fig. 5 Three-phase circuit diagram of the 20 kV resistive neutral grounding system

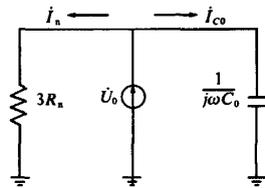


图6 20 kV 中性点阻性接地系统零序等值电路

Fig. 6 Equivalent circuit of zero-sequence in the 20 kV resistive neutral grounding system

### 3.1.3 系统参数分析

由上述分析可知,在阻性接地情况下,中性点接地电阻的大小影响单相接地故障电流的幅值,接地电阻越小,接地电流的值越大,而对非故障相的电弧过电压则正相反。

综上所述,接地电阻的参数选择必须综合考虑单相接地故障电流和电弧过电压两方面。

## 3.2 配电网阻性接地主要适用范围

中性点接地电阻采用高阻值接地、中阻值接地、低阻值接地的三种方式各有其适用范围。

### 3.2.1 中性点接地电阻阻值范围的选择

当20 kV配电网发生电弧接地时,接地点电弧熄灭过程系统积累电荷,导致很高的过电压。若能使这些电荷在电弧熄灭到重燃前的一段时间内通过中性点电阻 $R_n$ 泄放,则可有效抑制过电压。因此, $R_n$ 值越低,则过电压相应也越低。

当 $R_n \geq 10 \times \frac{1}{3\omega C_0}$ 时,过电压值与不接地方式区别不大。

当 $R_n < (1 \sim 2) \times \frac{1}{3\omega C_0}$ 时,过电压可限制在比较合理范围。

### 3.2.2 中性点高阻值接地的适用范围

与不接地系统相比,中性点经高阻接地有效的限制了间歇性电弧过电压。但与直接接地系统

相比,会造成非故障相对地电压的升高。

中性点经高阻接地方式下,一般要求单相接地电容的电容电流应不大于10 A,因此其适用范围受到限制,一般只宜在规模较小的10 kV及以下电网中应用。

### 3.2.3 中性点中阻值接地适用范围

中性点经中电阻接地方式较好的限制了间歇性电弧过电压,但与直接接地系统相比,也会造成非故障相电压的升高,并产生一定数值的故障电流,造成一定数值接触电压和跨步电压。另外,中阻值接地方式下,若系统发生高阻值接地故障,零序过电流保护的灵敏度明显降低,难以保证正确动作。

中性点经中电阻接地方式情况下,接地故障电流一般不应超过200 A,最大不应超过300 A。

### 3.2.4 中性点低阻值接地适用范围

中性点经低电阻接地方式是最为常见的一种配电网中性点阻性接地方式。在这种方式下,可以保持较低的间歇性电弧过电压,非故障相电压升幅较小。由于接地电流较大,方便单相接地故障保护的配置,可在短时内有选择的切除故障线路。不足之处是此种接地方式的接地故障电流大,较大的接触电压和跨步电压对人身安全造成威胁,并影响设备安全和造成通信干扰等,从而需增加运行和维修投入,采取一定的防范措施。

根据DL/T 620-1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》的规定,低电阻接地系统为获得快速选择性继电保护所需的足够电流,一般选择接地故障电流限值为100~1000 A,20 kV配电网中宜选用中性点低电阻接地方式<sup>[12-13]</sup>。

## 4 算例

郑州某变电站拟将原10 kV配网系统改造为20 kV,变电站为纯电缆线路,电缆长度150 km,主要出线均采用300 mm<sup>2</sup>及以上电缆,支线95或120 mm<sup>2</sup>电缆,假定原来电缆除个别需要更换外均可继续适用,为简化计算,考虑该站分支与主干比例,计算中电缆截面统一为240 mm<sup>2</sup>,单位电容为0.3 μF,采用中性点不接地方式,则改造前后单相接地时电容电流对比如下:

(1) 10 kV 配电系统电容电流:  $I_k = 5.44 C_0 L = 244.8 (A)$ 。

(2) 20 kV 配电系统电容电流:  $I_k = 10.88 C_0 L = 489.6 (A)$ 。

若对大部分电缆进行更换,以保证满足更高

电压等级的要求,由于绝缘水平的提高,相应电容值有不同水平的降低,参考不同厂家的参数,取原来的75%,则单相接地电容电流为367 A.

## 5 结论

根据笔者分析可见,中性点阻性接地方式主要适用于电容电流过大、一般消弧线圈不能够满足灭弧要求的情况;另外一些已选用较低绝缘水平的电缆和开关设备的配网,也宜采用低电阻接地方式.算例表明,对20 kV配电网系统宜采用中性点阻性接地方式,根据实际电容电流计算结果,一般宜采用低电阻接地方式,但具体阻值的计算需考虑变电站的配网出线类型、电缆出线比例.对新建低压出线为20 kV的变电站,虽然初期由于出线回路少,单相接地的电容电流较小,但是考虑到城网的快速发展,为保证供电的连续性,一般均应考虑采用低电阻接地方式.

## 参考文献:

- [1] 李润先. 中压电网系统接地实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2002:1-131.
- [2] 吴祈甫,沈平,陈利民. 城市配电网中性点的接地方式[J]. 高电压技术,2002,28(6):50-58.
- [3] 刘力,孙结中. 一种测量配电网电容电流的新方法[J]. 电网技术,2001,25(5):63-65.
- [4] 唐艳波. 10 kV配电网单相接地电容电流补偿方式的研究[J]. 电力自动化设备,1999,19(4):52-55.
- [5] 陈立军. 10 kV配电网单相接地电容电流的工程计算法探讨[J]. 继电器,2006,34(15):83-85.
- [6] 曾祥君,许瑶,陈博,等. 中性点不接地配电网电容电流实时测量新方法[J]. 电力系统自动化,2009,33(2):78-91.
- [7] 孙岩洲,邱毓昌. 配电网电容电流的测量方法分析[J]. 高压电器,2002,38(5):27-32.
- [8] 符信勇,余仁山. 配电网电容电流测量及其实用性研究[J]. 长沙电力学院学报:自然科学版,2005,20(4):30-37.
- [9] 黄鲟,唐忠,曹斌勇. 配电网电容电流测量方法的比较与应用[J]. 湖南电力,2006,26(4):55-57.
- [10] 李景禄,周羽生. 配电网电容电流测量结果异常的分析[J]. 高电压技术,2002,28(8):56-60.
- [11] 刘明岩. 配电网中性点接地方式的选择[J]. 电网技术,2004,28(16):86-89.
- [12] 侯义明,汲亚飞. 江苏20kV配电网改造的中性点接地方式研究[J]. 电力设备,2008,29(9):18-20.
- [13] 张同洲. 20 kV配电网中性点接地方式的选择[J]. 电网技术,2008,32(增1):109-111.

## Research of Neutral Grounding Modes in 20 kV Distribution Network

CHEN Gen-yong<sup>1</sup>, HOU Yong-jiang<sup>1</sup>, YANG Feng-min<sup>2</sup>, LIU Feng<sup>2</sup>, ZHANG Yan-hui<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450053, China)

**Abstract:** For the problems of the single-phase to ground fault current increased and the over-voltage in the 20 kV urban cable distribution network, the neutral grounding modes for different structures are studied. Application scopes of neutral grounding modes in the 20 kV distribution network are confirmed by the steady-state analysis and transient analysis of single-phase to ground fault, and the analysis of system parameters. When the capacitive current is less than 10 A, the insulated grounding mode can be used. Between 10 ~ 150A, the arc-suppression coil grounding mode can be used. Between 100 ~ 1000 A, the low-resistance grounding mode can be used. The analysis result shows that the mode of the neutral grounding via low-resistance should be applied in the 20 kV cable distribution network systems.

**Key words:** neutral grounding mode; single-phase to ground fault; arc-suppression coil; capacitive current; over-voltage; distribution network