

# 消弧线圈接地装置及其在变电站设计中的应用

黄东平

(广电集团河源供电分公司, 广东 河源 517000)

**摘要:** 随着供电网络的发展,特别是电缆线路日益增加,使得系统单相接地电容电流不断增加,导致电网在单相接地故障时,电容电流过大,无法自动灭弧。是否设置及如何使用消弧线圈,完全取决于系统的动态对地电容,适用性、可靠性和先进性成为选择消弧装置的主要依据。文中不仅简单介绍了国内目前流行的几种消弧线圈的工作原理及其特点,还着重介绍了中压配电网接地电容电流的计算和实测方式、消弧线圈的布局规划和容量计算方法。最后,对接地变和消弧线圈系统的设计提出了自己的一些建议。

**关键词:** 城市配电网; 消弧线圈; 接地变; 中性点接地

**中图分类号:** TM475 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)12-0036-04

## 0 引言

随着电力系统的发展,城市配电网中性点的接地方式越来越受到关注。如何正确选择中性点接地方式及接地装置类型,关系到电力系统的安全及可靠,是电力工程的一个设计的重要课题。

国内现有的 10 ~ 66 kV 配电系统普遍为中性点不接地系统,随着供电网络的发展,特别是电缆线路日益增加,使得系统单相接地电容电流不断增加,导致电网在单相接地故障时,电容电流过大,无法自动灭弧。我国电气设备设计规范规定“当接地电容电流超过一定值时,要采用中性点经消弧线圈接地方式”。是否设置及如何使用消弧线圈,完全取决于系统的动态对地电容——以系统电容电流来描述。因此,测量配电网系统对地电容电流一方面有助于继电保护定值的整定,另一方面亦可为选择消弧线圈容量提供依据。

中压城市电网中性点接地方式的发展过程经历了中性点直接接地方式,中性点经固定消弧线圈或小电阻接地方式,以及两种接地方式并存的发展过程。其间,消弧线圈也经历了一个实现原理从简单到复杂,从缓慢补偿到智能快速的过程,结合接地保护技术的发展,为进一步提高中压城市电网的供电质量,提供了更为有力的保障。

## 1 国内目前流行的几种消弧线圈原理及特点简介

### 1.1 调匝式

将电感线圈制成带有多个分接头型式,利用分接头的改变实现励磁阻抗的改变。一般采用变压器

的有载调节机构或真空开关实现分接头的调节。该产品是最早出现的自动跟踪消弧线圈,运行时间最长,也是目前运行中为数最多的产品。目前该产品电感值调节范围较小,所输出补偿电流有最小值的限制。为防止电网正常运行的串联谐振,必须加上阻尼电阻。国内生产此类产品的代表厂家主要是:上海思源 XHK-II-R 消弧线圈自动调谐及接地选线装置和河北邯郸恒山通用的 ZTD 系列接地补偿消弧限压装置。

### 1.2 调气隙式

将电感线圈的铁芯制成带有气隙的型式,利用气隙长度的改变实现励磁阻抗的改变。一般采用步进电机利用转动、传动机构实现气隙的调节,采用电动机做动力。该类自动跟踪消弧线圈出现也较早,运行经验也较长,目前运行的数量也较多。该产品装置较为复杂,调节过程噪音较大,调节速度慢。它所输出的电流可以连续无级调节,但仍然有一个最小补偿电流的限制。

### 1.3 调节铁芯磁饱和度

采用外置设备改变铁芯的磁饱和度来实现励磁阻抗的改变,一般可采用以下形式来实现:

1) 直流偏磁式:利用外置的直流装置对电感线圈的铁芯注入直流磁通,通过改变直流电流的大小改变铁芯的磁饱和程度,从而改变励磁阻抗,直流电流通过可控硅来进行调节。

2) 磁阀式:同样通过对铁芯注入直流磁通来改变铁芯的磁饱和度,但该直流磁通是通过取自身的一部分交流电源来产生的。一般也由可控硅来控制调节。

该两类产品由于采用可控硅技术,调节速度大

大提高,有可能采用随调的控制方式,而且避免了传动和转动机构。河北保定天威 XHJZ智能型消弧限压接地补偿装置属于这种类型产品,在国内有一定的应用。

#### 1.4 调容式

将消弧线圈制成变压器型式,一次侧接入配电网中性点,二次侧接入多组电容器,用投切电容器组来改变变压器容性负载,从而改变一次侧的电抗值。电容器组的投切一般采用真空开关或可控硅来进行。

该型产品是近年来出现的新型产品,这类产品中比较典型的是北京良乡旭辉电力公司的 ZGTD - C系列调容式自动跟踪接地补偿及选线成套装置,在全国应用的地区比较广,也取得一定的运行经验。另外,上海思源公司也有类似的产品。

#### 1.5 调节部分电感量

将电感线圈分解成固定电感线圈和可调电感两部分组合,其中可调部分采用可控硅进行调节。一般有两种组合方式:

1) 调串联电感式:固定电感与可调电感相串联,将可控硅并联到可调电感上,通过调节可控硅导通角来改变可调电感的电抗值。

2) 调并联电感式:固定电感与可调电感相并联,而可控硅则与可调电感相串联,同样通过调节可控硅导通角来改变可调电感的电抗值。

该两类产品能获得很高的调节速度,也可以采用随调式的控制方式,也能连续无级地输出补偿电流,但为了限值可控硅工作时产生的谐波,电感量最大值与最小值之比不能超过一定值(一般为 1.5),因此可调的电感量相当小。

#### 1.6 高短路阻抗变压器式

高短路阻抗变压器式消弧线圈利用高短路阻抗变压器来做成的,如图 1 所示,把高短路阻抗变压器的一次绕组作为工作绕组接入配电网中性点,二次绕组作为控制绕组由两个反向并接的可控硅短路,可控硅的导通角由控制器控制。调节可控硅的导通角由 0 至 180 之间变化,使可控硅的等效阻抗由无穷大到零之间变化,则输出的补偿电流就可在 0 至额定值之间得到连续无极调节。

其创新之处,其一就在于将二次电感与变压器的阻抗设计有机结合,亦通过设计高短路阻抗变压器而略去二次纯电感负载;其二在于用大功率电力电子器件代替开关负荷,从而使得变压器原边电流可以连续无级调整。

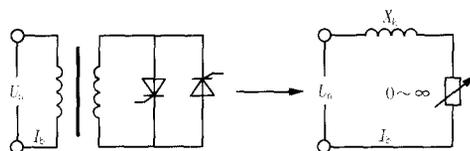


图 1 高短路阻抗变压器式消弧装置原理图

Fig 1 Transformer-typed arc suppression coil with high short circuit resistance

补偿电流计算公式如下:

$$I_b = \frac{U_n}{X_k + (0 \sim \infty)} = \frac{U_n}{X_k + \infty} \sim \frac{U_n}{X_k} = 0 \sim I_n$$

式中:  $I_b$  为补偿电流值;  $U_n$  为消弧装置中性点电压;  $X_k$  为消弧装置内部固定阻抗;  $0 \sim \infty$  为可控硅可调等效阻抗;  $I_n$  为补偿电流额定值。

国内广州智光电气有限公司生产的 KD - XH型配电网智能化快速消弧线圈与 DDS型配电网接地故障智能检测装置组成的消弧系统是属于这类产品。

目前,国内关于消弧装置的研究和开发进入了一个新的历史时期,各类先进的产品不断涌现。适用性、可靠性和先进性是选择消弧装置的主要依据。

## 2 消弧线圈接地装置在变电站设计中的应用

变电站消弧线圈自动调谐装置的设计首先必须精确掌握电网的电容电流,其确定办法有理论计算和实测两种办法。理论计算适合设计阶段,而在电网已经形成时可以采用实际测量的办法。

### 2.1 电容电流的计算

中压配电网的接地电容电流,包括下面 a、b、c 三部分,可按经验公式进行计算:

a 对于电缆线路电容电流的估算值:电缆线路的电容电流远大于架空线路的电容电流,必须单独计算,其值与电缆的截面积、电缆结构、额定电压密切相关,可参考《电力系统谐振接地》一书。

b 对于架空线路估算值:

$$I_c = (2.7 \sim 3.3) U_n \times L \times 10^{-3} \text{ (A)}$$

其中:  $U_n$  为架空线路的额定电压, kV;  $L$  为架空线路长度, km。

该公式源于木杆线路,对于水泥杆及金属杆塔的架空线路,电容电流需要增大 10% ~ 12%。

c、电网运行电压的影响值:当计算电网的电容电流时,在架空线路和电力电缆线路的基础上,还应当适当考虑变电站中配电装置的影响。运行电压越低,增大电容电流的作用越明显。对于 6 kV 电压等

级的变电站影响接地电流增大率为 18%, 10 kV 电压等级的增大率为 16%, 35 kV 电压等级的增大率为 13%。

所以,中压配电网接地电容电流的理论计算值等于 a、b、c 项之和。其计算公式为:  $a + b + (a + b) * \text{增大率}$ 。

## 2.2 电容电流的实测方法

1) 可以参考《一种安全检测 10 kV 系统单相接地电容电流方法》(发表在《广东电力》, 2001 年 6 月)一文。

2) 可以使用广州智光电气的 DRC - IA 型电容电流测量仪测量电容电流值。

DRC - IA 型配电网接地电容电流测量仪采用“外信号注入法”,并结合变频、微机和数字信号处理等最新技术,通过在变电站母线 PT 二次开口三角端 ( $3U_0$ ) 注入一定频率的非工频信号,从而准确、快速和安全地测量配电网接地电容电流,解决了以往现场电容电流测量方法繁琐、测量和估算不准、操作较为危险等弊端。可广泛用于大、中、小型变电站的中压配电网对地电容电流的测量。实际应用中,仪器通常注入小于 1.0 A 的信号电流、小于 1.0 V 的信号电压、0.1 ~ 120 Hz 的非工频信号。仪器采用自适应技术,对不同配网能自动搜索和修改注入的信号频率,测量过程可全自动一次性完成,省时省力。

## 2.3 消弧线圈的布局规划

《电力设备过电压保护设计技术规程 SDJ7 - 79》中新的规定, 3 ~ 10 kV 配电网中单相接地电容电流大于 10 A 时,要求装设消弧线圈。如果在站的电容电流估算和实际测量中,电容电流值均大于 10 A,则需要装设消弧线圈。

根据各站内具体的运行情况,进行消弧线圈的分配布局,原则上是一台主变带一台消弧线圈。其消弧线圈容量与此段母线的电容电流值配套。例如有两台主变,运行方式是单母分段的情况下,上两台消弧线圈;有三台主变,运行方式是三母四分段(其中 2# 主变带两段母线)的情况下,一般设置三台消弧线圈,分布于 I 段、IA 段和 III 段,或者也可以分布于 I 段、IB 段和 III 段。

## 2.4 消弧线圈、接地变的容量选择

### 1) 消弧线圈容量 $S_{xh}$ 的计算

消弧线圈的容量是根据电网电容电流的大小来确定的,其计算公式为:  $S_{xh} = I_c * U_n \sqrt{3}$ 。另外,一些经济发展较快,用电负荷增加迅速的地区或者变电站,需要考虑相应的裕度问题  $M$ , 可以选取  $M = 1.3$

~ 1.8, 那么消弧线圈的容量  $S_{xh}$  的实际计算则为:

$$S_{xh} = M * I_c * U_n \sqrt{3}$$

### 2) 接地变容量 $S_{jdb}$ 的计算

接地变的容量按照消弧线圈容量  $S_{xh}$  加上接地变二次容量  $S_{ec}$  (兼作站用变时站用电容量) 来计算获得:  $S_{jdb} = S_{xh} + S_{ec}$ 。也有一些地方设计考虑到站用实际使用容量是二次容量的 0.8 ~ 0.9, 所以,也有  $S_{jdb} = S_{xh} + S_{ec} (0.8 \sim 0.9)$  的情况。

另外,还要考虑接地变的等效零序阻抗  $R_{jdb}$  和阻抗电压(当有二次容量时需要考虑阻抗电压):

$$R_{jdb} = 2\% * R_{xh} \text{ (消弧线圈零序阻抗);}$$

$$R_{jdbx} \text{ (接地变每相零序阻抗)} = 3 * R_{jdb};$$

$$R_{xh} = U_n \sqrt{3} I_n;$$

$$\text{所以, } R_{jdbx} = 3 * 2\% * U_n \sqrt{3} I_n。$$

因此,如果确定了消弧线圈的容量  $S_{xh}$ , 则  $R_{jdbx} = 3 * 2\% * U_n \sqrt{3} S_{xh}$ , 而且还有 0.9 的裕量。所以向接地变生产厂家提出接地变设备的技术条件时,应该是每相接地变实际生产零序阻抗为  $R = 0.9 R_{jdbx}$ 。显然,  $R$  越小则测量或者补偿的精度越好。但是,这个  $R$  又和阻抗电压互为制约,  $R$  越小,阻抗电压就越高,而我们又不希望有较大的阻抗电压,所以,对于  $R$  和阻抗电压的匹配要两方面通盘考虑。

## 2.5 站内告警和后台信号的通讯

站内如果需要告警信号,则一般设计硬接点输出至光字牌显示,其主要信号为:装置故障、系统单相接地故障、补偿失败、直流失电、交流失电等等,具体由运行部门的需要而定。通讯部分的要求按运行或者调度方面的要求,提供合适的接口方式、系统报文,各种需要的信息。

## 2.6 消弧线圈系统设计应该注意的一些问题

1) 根据不同消弧线圈厂家消弧线圈的技术要求、尺寸、现场使用环境条件,设计现场安装,决定是否用在户外还是户内。

如果是安装在户内的,则不必要考虑防水,一般户内都能达到消弧系统的防水要求。如果安装在户外,则必须加高消弧线圈、接地变等一次设备的安装基础,在满足安全距离要求的前提下,还要达到防水的要求。一般有围栏的情况下,基础要做到 500 mm 高;如果是低洼的地方要适当加高;如果没有围栏,接地变或者消弧线圈高压端的裸露部分加上基础部分,距离地面的高度不能低于 2500 mm;低压端的裸露部分加上基础部分,距离地面的高度不能低于

1 500 mm。在此条件下,如果还不能符合防水要求,则还要适当加高基础。

### 2) 接地变和消弧线圈的温升问题

接地变在以下情况下绕组温升不大于 95 ~ 100 K:

a、当接地变二次负载为额定的二次负载,且一次绕组同时流过额定零序电流 2 h;

b、当接地变长期二次负载为额定的二次负载时消弧线圈流过额定零序电流 2 h 绕组温升不大于 95 ~ 100 K。当不能满足要求时,必须设置降温装置。

### 3) 消弧线圈系统的接地问题

消弧线圈控制部分的接地与消弧回路的接地应该分开。而且,消弧回路的接地应该接着电站里面的主接地网上,要保证接地效果良好。因为系统发生接地时,经消弧线圈流过的电流非常大,必须保证此回路有足够的通流容量。

### 4) 消弧系统与小电流选线的配合

如果在变电站内装设快速的消弧线圈系统,此类消弧线圈补偿速度非常快,能达到 5 ms 反应速度,这样就有可能造成站内已有的选线系统还没有能正确选出接地线路的时候,残流已经降低到选线系统辨别不出来哪条是接地线路了,所以还要考虑这种的特殊情况。安装此类快速反应消弧系统,必须选用相应的反应速度快、选线方式先进、选线准确的保护装置相配合。

### 5) 信号的反电磁干扰要求

变电站内属于强电场、强磁场的环境,对站内的弱电量信号、弱磁信号干扰非常大,如果消弧线圈有弱电量信号或者弱磁信号的采样和传送,则必须考虑此类信号的屏蔽保护,要采取装设屏蔽电缆;小电流互感器、小电压互感器等需要一点接地;控制装置外壳要可靠接地,信号采集线采用屏蔽的控制电缆或者屏蔽双绞线等等措施。

### 6) 可靠运行和安全检修的必要设计措施

接地变如果有二次容量(站用变),则必须在接地变中心点引出线到消弧线圈之间装设中心点单相隔离刀闸,其一是方便停电检修消弧线圈时,此接地变兼站用变继续提供站内用电。其二是可以实现单独对接地变充电。当然,最好是接地变与站用变分开设置,但投资增大。

## 3 结论

随着城市配电网供电质量的要求不断提高,中性点不接地或经消弧线圈接地系统的单相接地选

线是长期困扰电力系统的一个难题,在发生单相接地后快速正确地选出接地线路对电力系统安全运行起着重要的作用,这就要求快速准确的选线保护技术与消弧装置技术的发展有机结合。

我们相信,在综合考虑了供电可靠性、人身安全、电磁兼容等问题之后,结合当前接地继电保护取得较快发展的情况,现在和将来,智能化快速消弧线圈系统和快速准确的选线保护装置配合的中性点接地方式必然是中压城市电网中性点接地方式的发展方向。

### 参考文献:

- [1] 要焕年,曹梅月.用系统工程观点看城市电网中性点接地方式问题[J].电力自动化设备,1994,14(1):5-9.  
YAO Huan-nian, CAO Mei-yue Urban Power System Neutral Grounding Problem Viewed by System Engineering[J]. Electric Power Automation Equipment, 1994, 14(1):5-9.
- [2] 要焕年.法国电力公司中压电网中性点改用谐振接地方式的实践经验[J].电网技术,1998,22(4):50-53.  
YAO Huan-nian Practical Experiences of EdF (Electricite de France) in Using Resonance Grounding for Neutrals of Medium Voltage Power Network[J]. Power System Technology, 1998, 22(4):50-53.
- [3] 朱家骧.城乡配电网中性点接地方式的发展及选择[J].电力设备,2000,(1):3-4.  
ZHU Jia-liu Development and Selection of Neutral Grounding in Rural and Urban Power Distribution System [J]. Electrical Equipment, 2000, (1):3-4.
- [4] 陆国庆,姜新宇,梅中健,等.配电网中性点接地的新途径[J].电网技术,2004,28(2):32-35.  
LU Guo-qing, JIANG Xin-yu, MEI Zhong-jian, et al A New Approach to Neutral Grounding in Distribution Networks[J]. Power System Technology, 2004, 28(2):32-35.
- [5] 孙一平,陈克政.长沙城区 10 kV 配电网中性点接地方式探讨[J].供用电,2004,21(2):25-28.  
SUN Yi-ping, CHEN Ke-zheng Discussion of Neutral Grounding in Changsha 10 kV Power Distribution Networks[J]. Distribution and Utilization, 2004, 21(2):25-28.

收稿日期: 2005-02-26; 修回日期: 2005-04-11

作者简介:

黄东平(1969-),男,电气工程师,从事电气设计工作。

Email: HY8142@163.com

(下转第 51 页 continued on page 51)

本文设计和实现了遵循 SCL 模型的 IED 配置器,详细探讨了其配置流程和软件结构,并指出了现有模型中的缺陷和改进方案。本文所开展的初步工作相信对同行研究者有借鉴价值。

#### 参考文献:

- [1] 谭文恕. 电力系统无缝通信系统体系 [J]. 电力自动化设备, 2001, 21(11): 1-4.  
TAN Wen-shu Seamless Communication Architecture in Power Systems [J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(11): 1-4.
- [2] IEC 61850, Communication Networks and Systems in Substations[S].
- [3] 谭文恕. 变电站通信网络和系统协议 IEC61850 介绍 [J]. 电网技术, 2001, 25(9): 8-15.  
TAN Wen-shu An Introduction to Substation Communication Network and System-IEC61850 [J]. Power System Technology, 2001, 25(9): 8-15.
- [4] 卞鹏,潘贞存,高湛军,等. SCL 在变电站远程配置管理

中的应用 [J]. 电力系统自动化设备, 2004, 24(4): 54-56

BIAN Peng, PAN Zhen-cun, GAO Zhan-jun, et al Application of SCL in Remote Substation Configuration Management [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(4): 54-56

- [5] 张仕,毛宇光. XML 语法检查的实现 [J]. 计算机工程与设计, 2002, 23(11): 86-90.  
ZHANG Shi, MAO Yu-guang Implementation of XML Parser [J]. Computer Engineering and Design, 2002, 23(11): 86-90.

收稿日期: 2004-10-08; 修回日期: 2004-10-28

#### 作者简介:

兰森林 (1978 - ),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化;E-mail: lansenlin@sjtu.edu.cn

张沛超 (1970 - ),男,副教授,主要从事专家系统在电力系统中的应用研究。

## Design and implementation of IED configurator based on SCL model

LAN Sen-lin, ZHANG Pei-chao

(Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** The configurations of IEDs play an important role in associating the part-6 with the part-7 of IEC 61850. Based on substation configuration description language (SCL), this paper details the design and implementation of IED configurator. Firstly, each step in the configuration flow of IED configurator is discussed. Secondly, this paper expounds several limitations of SCL model and its modifications, and analyzes the IED configurator information model which is built on the modifications of SCL model. Finally, the software structure of IED configurator is presented.

**Key words:** IEC 61850; intelligent electronic device; substation configuration description language

(上接第 39 页 continued from page 39)

## Arc suppression coil grounding device and its application in substation design

HUANG Dong-ping

(Heyuan Power Supply Branch, Guangdong Group Corporation, Heyuan 517000, China)

**Abstract:** As the development of power supply system, especially the adding of cable lines, single-phase grounding capacitive current has increased greatly. This causes capacitive current too large to suppress coil automatically when single-phase grounding fault occurs. Whether or not equip arc suppression coil and how to use it are decided by system dynamic capacitance to earth. And the adaptability, reliability and advantage become the main criterion of arc device selecting. This paper not only briefly introduces working principles and characteristics of several kinds of domestic arc suppression coil at present, but also illustrates the calculation and measuring approaches of grounding capacitive medium-voltage distribution system, and the distribution planning and capacity calculation of arc suppression coil. Some suggestions about the design of grounding transformer and arc-suppression coil system are put forward.

**Key words:** neutral grounding in urban power distribution system; arc suppression coil; grounding-transformer; neutral grounding