

# 500kV 变电站主变中性点接地方式及接地导体的选择应用

曾 勇<sup>1</sup> 杨永健<sup>2</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;  
2. 广东电网有限责任公司中山供电局, 广东 中山 528400)

**摘要** 本文总结了 500kV 电力变压器中性点的接地要求, 分析了 500kV 主变中性点接地方式的选择, 阐述了 500kV 主变中性点在主变或电网发生交流短路情况下采用直接接地或经小电抗接地的接地方式运行特点, 在发生主变直流偏磁时迅速切换至经隔直装置接地方式运行特点, 并基于上述中性点接地方式运行的特点, 提出关于中性点接地导体选择的计算方法, 最后结合工程对其选择应用的进行说明。

**关键词:** 直接接地; 小电抗接地; 隔直装置接地; 主变中性点接地导体

## Application of Grounding Mode and Grounding Conductor for Power Transformer Neutral Point in 500kV Hub Substation

Zeng Yong<sup>1</sup> Yang Yongjian<sup>2</sup>

(1. Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd, China Energy Engineering Group,  
Guangzhou 510663;

2. Zhongshan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Company, Zhongshan, Guangdong 528400)

**Abstract** The grounding requirements of neutral point of 500kV power transformer are summarized in the paper. According to different characteristics of grounding mode and grounding conductor for power transformer neutral point in 500kV power transformer, the grounding mode works by solidly grounding or low-reactance grounding in AC short circuit conditions of main transformer or the gird, and quickly switch to DC-blocking device grounding in main transformer DC bias. Based on the characteristics of the neutral grounding operation mode, calculate grounding conductor for neutral point of power transformer, finally illustrate the selection and application in a project.

**Keywords:** solidly grounding; low-reactance grounding; DC-blocking device grounding; grounding conductor for neutral point of power transformer

我国能源分布不均衡, 煤炭能源集中在华北, 水能资源集中在西南, 石油天然气资源分散, 均远离消费中心, 电能作为生产、使用方便的二次能源, 正改善着人类的生存环境。电网是目前电能的主要的承载体, 电能的生产、输送、分配、使用无一不是通过电网来完成的, 不同电压等级的电网因在电力系统中的地位和作用而不同, 目前 500kV 仍然是国内电网的主干网, 500kV 变电站作为电网的枢纽节点, 对电能的二次输送和分配起着不可替代的作用。500kV 电力变压器作为变电站最重要的设备

之一, 其接地方式的选择对电网运行有着重要影响。

### 1 主变中性点接地方式的选择

#### 1) 接地方式概况

高压电气装置接地按用途可分为系统接地、保护接地、雷电保护接地和防静电接地<sup>[1]</sup>。为满足系统接地和保护接地要求, 500kV 电力变压器设置中性点考虑有效的接地方式, 目前 500kV 电力变压器中性点采用直接接地或经低阻抗接地<sup>[2]</sup>, 这两种接地方式在降低变压器中性点绝缘水平的同时, 可有

效降低变压器制造和运输成本。进一步研究表明，500kV 电力变压器中性点采用不同接地方式时其绝缘水平不同，直接接地绝缘水平可按 35kV 考虑，经小电抗接地绝缘水平可按 63kV 考虑<sup>[3]</sup>。

### 2) 当前存在问题

上述相关规程规范明确了 500kV 电力变压器中性点接地方式，但没有考虑新兴直流输电技术对中性点接地的影响。超高压直流输电由于具有远距离输电和电力系统联网方面的优点，广泛应用在“西电东送”和“全国联网”的电网建设当中。超高压直流输电系统在采用单极大地回线运行时，会导致直流接地极附近中性点接地的电力变压器发生直流偏磁现象，直流偏磁现象是变压器非正常的工作状态，主变在交流电网正常工作情况时，单极大地直流回路部分直流电流通过中性点进入变压器绕组，进而主变励磁电流中突显直流分量，磁通伴随变化，引发半波饱和，励磁电流随之产生大量谐波，这些谐波将导致铜损和铁损纷纷增大、油温升高、铁心振动增大和噪声增大，严重时甚至引起继电保护误动，影响其他一次设备的正常运行<sup>[4-6]</sup>。

### 3) 建议采取的接地方式

基于上述存在的问题，在 500kV 电力变压器的中性点除正常接地外，还应加装隔直装置。同时，在国家实施“西电东送”的战略中，以西部为起点，以东部为落点且变电站密集的长三江、珠三角地区，接地极附近的换流变和中性点接地的主变不得不考虑加装隔直装置，以到达消除直流偏磁的不良影响。

本文结合图 1 500kV 电力变压器中性点接地方式电气接线图对主变中性点接地方式的选择应用加以说明。图 1 中性点 CT 实时监测交流电流分量，实现二次差动保护和零序电流继电保护，通过对刀闸 QF<sub>1</sub>的控制，中性点可灵活运行在直接接地或小电抗接地方式下，与此同时，地刀 QF<sub>2</sub>处在闭合状态，直流 CT 监测直流电流分量，当超高压直流输

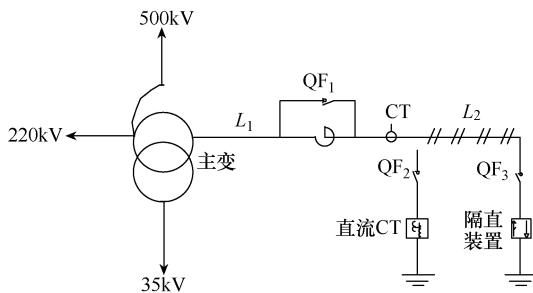


图 1 500kV 电力变压器中性点接地方式电气接线图

电单极大地回线运行而引起直流电流分量上升至动作值时，地刀 QF<sub>2</sub>触发断开命令，直流 CT 支路退出运行，同时刀闸 QF<sub>3</sub>触发闭合命令，刀闸 QF<sub>3</sub>闭合，隔直装置投入运行。

超高压输电单极大地回线运行会引起环境改变，并产生不良影响，目前超高压直流输电通常采用双极双导线运行，单极大地回线运行作为紧急备用。当超高压直流输电由单极大地回线运行调整为双极双导线运行后，隔直装置中监测的直流电流分量将随之下降，达到阀值时，刀闸 QF<sub>3</sub>触发断开，隔直装置退出运行，同时地刀 QF<sub>2</sub>触发闭合，直流 CT 支路投入运行，继续监测大地直流电流。

## 2 接地导体的选择

在明确 500kV 电力变压器中性点接地方式后，需进一步选择其接地导体，有文献对电压等级较低变压器的中性点接地导体的截面有过研究<sup>[7]</sup>，但尚未有文献对 500kV 主变中性点接地导体的种类、绝缘安全及截面等做进一步的研究。本文将结合 500kV 主变中性点接地方式的特点，对接地导体的选择应用做全面的研究。

### 2.1 导体种类选用

500kV 主变中性点接地导体根据 500kV 电站布置情况选择架空裸导线或电缆，主变厂家一般将中性点通常设置在低压侧附近，考虑施工便利，宜采用强度较好的钢芯铝绞线。若采用电缆，则可优先考虑固体绝缘介质的电力电缆。

### 2.2 导体绝缘选用

500kV 电力变压器中性点接地导体采用架空裸导线，屋外配电装置的安全净距 C 按 63kV 电压等级考虑<sup>[8]</sup>，最小安全净距取值为 3.1m。若采用电缆，根据图 1 中接地导体 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 可分段绝缘，L<sub>1</sub> 段按 63kV 电压等级以上考虑，L<sub>2</sub> 段仅在发生直流偏磁时接入闭合回路，此时电压较小，可按 10kV 电压等级考虑。

### 2.3 导体截面选用

在主变正常工作情况下，500kV 主变中性点接地导体仅流过数值较小的中性点不平衡电流。当主变或电网发生接地故障，500kV 主变中性点接地将成为短路电流入地的重要通道，释放能量，接地故障时属突发情况，可不考虑导体的经济电流密度校验，此时中性点接地电压等级小于 110kV，可不进行电晕和无线电干扰的校验，此外，中性点接地导

体入地距离较近，可不校验其电压损失。综上，中性点接地导体不论采用架空裸导线还是电缆，均仅需从工作电流和短路热稳定两个方面进行选择<sup>[9]</sup>。

### 1) 工作电流选择

导体的工作电流  $I_p$  应满足：

$$I_p \geq I_g \quad (1)$$

式中， $I_g$  为接地导体回路持续工作电流，应按大于变压器允许的不平衡电流选择，一般情况下，可按变压器高压侧额定电流的 1/3 考虑。

### 2) 短路热稳定校验

若采用架空裸导线，则架空线导体的载流截面积  $S_1$  ( $\text{mm}^2$ ) 应满足：

$$S_1 \geq \frac{\sqrt{Q}}{C_1} \quad (2)$$

式中， $Q$  为短路电流的热效应 ( $\text{A}^2 \cdot \text{s}$ )； $C_1$  为热稳定系数，即

$$Q = I^2 t \quad (3)$$

式中， $I$  为系统电源供给短路电流的周期分量起始有效值 (A)； $t$  为短路持续时间 (s)。

$C_1$  与短路前导体温度存在如下关系：

$$C_1 = \sqrt{K \ln \frac{\tau + t_2}{\tau + t_1} \times 10^{-4}} \quad (4)$$

式中， $K$ 、 $\tau$  为常数； $t_1$  为导体短路前的发热温度 (℃)； $t_2$  为短路时导体最高允许温度 (℃)。

短路前的导体发热温度 70℃时，铝导体  $C_1$  取值为 87，铜导体  $C_1$  取值为 171。

若采用固体绝缘电缆，则电缆导体的载流截面积  $S_2$  ( $\text{mm}^2$ ) 应满足<sup>[9-10]</sup>：

$$S_2 \geq \frac{\sqrt{Q}}{C_2} \times 10^2 \quad (5)$$

式中， $C_2$  为热稳定系数，即

$$C_2 = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{Jq}{\alpha K \rho} \ln \frac{1+\alpha(\theta_m - 20)}{1+\alpha(\theta_p - 20)}} \quad (6)$$

$$\theta_p = \theta_0 + (\theta_H - \theta_0) \left( \frac{I_p}{I_H} \right)^2 \quad (7)$$

式中， $J$  为热功当量系数，取 1.0； $q$  为电缆导体的单位体积热容量 ( $\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{℃}$ )； $\theta_m$  为短路作用时间内电缆导体允许的最高温度 (℃)； $\theta_p$  为短路发生前的电缆导体最高工作温度 (℃)； $\theta_H$  为电缆额定负荷

的电缆导体允许最高工作温度 (℃)； $\theta_0$  为电缆所处的环境温度最高值 (℃)； $I_H$  为电缆的额定负荷电流 (A)； $I_p$  为电缆实际最大工作电流 (A)； $\alpha$  为 20℃ 时电缆导体的电阻温度系数 (1/℃)； $\rho$  为 20℃ 时电缆导体的电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$ )； $\eta$  为取 1.0； $K$  为 20℃ 时电缆芯线的集肤效应系数。

## 3 应用举例

本文以南方某 500kV 变电站主变中性点接地方式及其接地导体的选择应用为实例进行说明。本站位于珠三角地区，且在直流接地极影响范围内，主变中性点采用直接接地或小电抗接地后串联隔直装置的接地方式，根据站内的布置情况，为节省成本，中性点接地导体采用架空裸导线和电缆相结合，其中电缆分段绝缘，图 2 为主变中性点接地电气平面布置图。

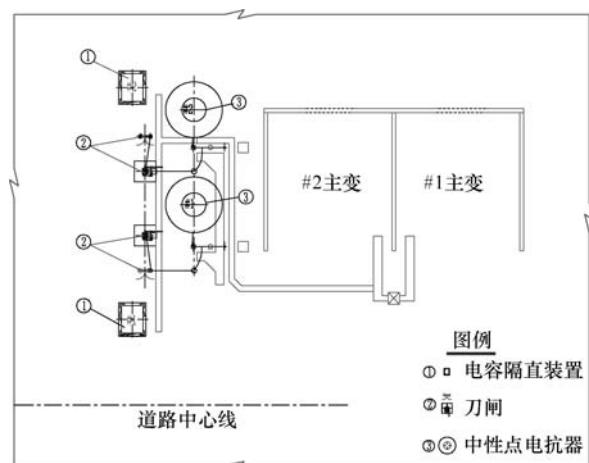


图 2 主变中性点接地电气平面布置图

图 3 中， $L_3$  和  $L_5$  采用电缆导体，并通过电缆沟敷设，这样可减少外界的干扰， $L_4$  采用架空裸导线，这样施工接线方便和材料成本降低。 $L_3$  采用了 63kV 电压等级的交联聚乙烯绝缘焊接皱纹铝套防水层聚氯乙烯护套电力电缆，按工作电流  $I_p \geq 367.4\text{A}$ ，载流截面积  $S_2 \geq 220\text{mm}^2$ ，选用电力电缆型号为 YJLW02-Z-64/110kV-1x300。 $L_5$  采用了 10kV 电压等级的交联聚乙烯绝缘双钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆，由于  $L_5$  所在回路仅在直流 CT 监测到直流电流超限（一般取 10A）才形成闭合回路，所以其工作电流较小，可按  $I_p \geq 10\text{A}$ ，载流截面积  $S_2 \geq 55\text{mm}^2$ ， $L_5$  选用电力电缆型号为 ZB-YJV62-8.7/15-1x70。 $L_4$  采用了强度较好的钢芯铝绞线，其工作电流也较小，可按  $I_p \geq 10\text{A}$ ，载流截面积  $S_2 \geq 222\text{mm}^2$ ，选用钢芯

铝绞线型号为 LGJ-240/30。对应的主变中性点接地导体电气接线示意图如图 3 所示。

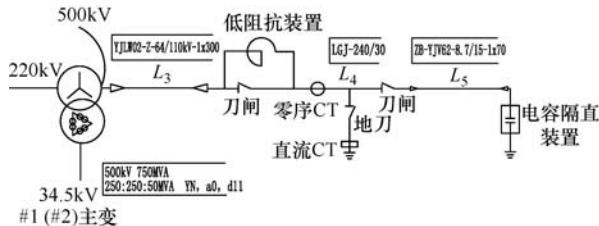


图 3 主变中性点接地导体电气接线示意图

## 4 结论

本文总结了 500kV 电力变压器中性点的接地要求，在主变或电网发生交流短路情况下，分析了采用直接接地或经低阻抗接地的接地方式运行的特点，同时，也分析了在发生主变直流偏磁时，中性点迅速切换至经隔直装置接地方式的运行特点，并依据这些运行特点，提出了关于中性点接地导体选择的计算方法，最后，结合工程实例对 500kV 电力变压器中性点接地运行方式的选择及其接地导体的选择应用进行说明。

## 参考文献

- [1] GB 50065—2011. 交流电气装置的接地设计规范[S].

(上接第 116 页)

量机软测量模型输出结果和校验样本的均方根误差为 0.039。

## 参考文献

- [1] 阎威武, 朱宏栋, 邵惠鹤. 基于最小二乘支持向量机的软测量建模[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(10): 1494-1496.
- [2] 周昊, 朱洪波, 曾庭华, 等. 基于人工神经网络的大型电厂锅炉飞灰含碳量建模[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(6): 96-100.
- [3] 王剑东, 王东风, 韩璞. 软测量技术及其在电厂热工过程中的应用[J]. 电站系统工程, 2002, 18(5): 49-51.
- [4] 乔弘. 火电厂热工参数软测量关键技术与方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009.

- [2] GB 50064—2014. 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范[S].
- [3] GB 1094.3—2003. 电力变压器 第 3 部分: 绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙[S].
- [4] 余建国, 晏剑, 钱海. 天广直流输电工程极 1 单极运行强迫停运故障原因分析和改进措施[J]. 电网技术, 2002, 26(5): 80-83.
- [5] 钟连宏, 陆培均, 仇志成, 等. 直流接地极电流对中性点直接接地变压器影响[J]. 高电压技术, 2003, 29(8): 12-13, 28.
- [6] 朱艺颖, 蒋卫平, 曾昭华, 等. 抑制变压器中性点直流动电流侧措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(13): 1-7.
- [7] 钱中阳, 冯志文. 李建云变压器低压侧中性点接地导体截面的选择[J]. 建筑电气, 2009, 28(12): 38-42.
- [8] DL/T 5352—2006. 高压配电装置设计技术规定[S].
- [9] 水利电力部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册: 电气一次部分[M]. 北京: 中国电力出版社, 1989.
- [10] GB 50217—2007. 电力工程电缆设计规范[S].

## 作者简介

曾 勇 (1984-), 男, 湖南邵阳人, 硕士, 工程师, 主要从事输变电工程的电气设计工作。

- [5] 刘福国, 郝卫东, 韩小岗, 等. 基于烟气成分分析的电站锅炉入炉煤质监测模型[J]. 燃烧科学与技术, 2002, 8(5): 441-445.
- [6] 方湘涛, 叶念渝. 基于 BP 神经网络的电厂锅炉飞灰含碳量预测[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(12): 75-77.
- [7] 刘长良, 孙晓娇, 刘站营. 支持向量机在锅炉飞灰含碳量软测量中的应用[J]. 电力科学与工程, 2010, 26(1): 39-43, 59.
- [8] 付旭, 丁建设, 潘军民, 等. 基于模型预测控制的火电厂主蒸汽温度优化[J]. 电气技术, 2014, 15(1): 126-127.
- [9] 郭建仙, 杨帆. ECMS 系统在百万机组的应用分析[J]. 电气技术, 2015, 16(9): 78-82.

## 作者简介

贺 军 (1979-), 男, 本科, 工程师, 从事热工自动控制工作。