

# 银川东换流站主变压器中性点电抗器配置方案

高峰

(国网宁夏电力公司电力科学研究院, 宁夏 银川 750011)

**摘要:** 针对宁夏电网 $\pm 660$  kV 银川东换流站 330 kV 母线单相短路电流超过了开关额定遮断电流的问题,依据宁夏电网 2014 年及 2016 年规划主网架结构,研究了 $\pm 660$  kV 银川东换流站 750 kV 主变压器中性点加装小电抗的限流效果,以有效限制短路电流。通过对电抗器工频过电压、电流和操作过电压、电流的计算分析,选取了中性点避雷器参数,提出了主变压器中性点电抗器的工频和操作过电压水平,对电抗器的动、热稳定电流进行了选择,确定了中性点电抗器的技术参数。结果表明: $\pm 660$  kV 银川东换流站 750 kV 主变压器加装小电抗可有效限制 330 kV 母线单相短路电流。

**关键词:** 银川东换流站; 单相短路电流; 中性点; 电抗器; 过电压; 绝缘

**中图分类号:** TM744.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3643(2014)06-0013-05

**有效访问地址:** <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2014.06.003>

## Configuring scheme on neutral point reactor for main transformer of Yinchuan Eastern converter station

GAO Feng

(Power Research Institute of State Grid Ningxia Power Co., Yinchuan Ningxia 750011, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of 330 kV bus single phase short-circuit current to surpass switch rated interrupting current in  $\pm 660$  kV Yinchuan Eastern converter station of Ningxia power grid, bases on main structure of 2014 and 2016 year Ningxia power grid layout, in order to effectively limiting short-circuit current, researches the current limiting effect at 750 kV main transformer neutral point which install small reactor in  $\pm 660$  kV Yinchuan Eastern converter station, by calculating and analyzing power frequency overvoltage and current of reactor, and operation overvoltage and current of reactor, selects neutral point arrester parameters, puts forward power frequency overvoltage level and operation overvoltage level of main transformer neutral point reactor, selects dynamic and thermal steady current of reactor, confirms technological parameters of neutral point reactor. The result shows that 750 kV main transformer neutral point to install small reactor in  $\pm 660$  kV Yinchuan Eastern converter station can effectively limit single phase short-circuit current of 330 kV bus.

**Key words:** Yinchuan East converter station; single phase short-circuit current; neutral point; reactor; overvoltage; insulation

**DOI:** 10.3969/j.issn.1672-3643.2014.06.003

---

收稿日期: 2014-10-23

作者简介: 高峰(1982), 男, 工学博士, 从事电力系统仿真试验研究工作。

随着电网规模的不断扩大,系统短路电流水平越来越接近或超过断路器的遮断容量,严重威胁到电网和运行设备的安全<sup>[1-2]</sup>。同时,由于自耦变压器具有体积小、重量轻、价格便宜等优点,直接接地的自耦变压器在电网中得到了广泛应用,从而导致 750 kV 变电站的 750 kV 与 330 kV 母线单相接地短路电流超过三相短路电流的现象时有发生。 $\pm 660$  kV 银川东换流站主变压器采用 2 台电压为  $765/\sqrt{3}/(345/\sqrt{3} \pm 2.5\%)/63$  kV,容量为 700/700/233 MVA 的自耦变压器。2014 年银川东 330 kV 母线单相短路电流达 67.06 kA,据预测 2016 年将达到 67.86 kA,超过 63 kA 的开关遮断容量,需采取措施加以限制。

在变压器中性点经小电抗接地是限制不对称短路电流水平的主要方法之一,该措施施工便利,投资较小,电抗器阻抗值在零序网络中被放大 3 倍,因此在单相短路电流过大而三相短路电流相对较小的场合很有效。小电抗阻值的选取要考虑其自身的通流容量与变压器中性点过电压水平,不宜太小也不宜太大,一般为 5~20  $\Omega$ 。本文依据宁夏电网 2014 年及 2016 年规划主网架结构,研究了  $\pm 660$  kV 银川东换流站 750 kV 主变压器中性点加装小电抗的限流效果,并计算分析了电抗器的工频过电压、电流和操作过电压、电流,依据计算结果选取了中性点避雷器参数,提出了主变压器中性点电抗器的工频和操作过电压水平,对电抗器的动、热稳定电流进行了选择,确定了中性点电抗器的技术参数。

# 1 银川东换流站主变压器中性点串小电抗限流效果分析

## 1.1 计算条件

$\pm 660$  kV 银川东换流站交流 750 kV 侧出线共计 6 回,分别为:川-京 I 线、川-京 II 线、川-灵 I 线、川-灵 II 线、川-黄 I 线和川-黄 II 线。其中,川-京 I 线和 II 线由银川东站接至京能宁东 750 kV 变电站;川-灵 I 线和 II 线由银川东站接至灵武电厂;川-黄 I 线和 II 线由银川东换流站接至黄河 750 kV 变电站。

交流 330 kV 侧出线 9 回,分别为:川-水 I

线、川-水 II 线、川-水 III 线、川-徐 I 线、川-徐 II 线、川-徐 III 线、川-蒋 I 线、川-蒋 II 线和川-蒋 III 线。其中川水 I 线、II 线、III 线由银川东站接至甜水河 330 kV 变电站;川-徐 I 线、II 线和 III 线由银川东站接至徐家庄 330 kV 变电站;川-蒋 I 线、II 线和 III 线由银川东站接至蒋家南 330 kV 变电站。另外,交流 330 kV 侧接至  $\pm 660$  kV 极 I 和极 II 换流变压器。

2014 年冬大方式的变化主要是 750 kV 网架有所增强,新增黄河变电站-贺兰山变电站第二回线以及黄河变电站、贺兰山变电站各新增 1 台主变压器。届时,银川东站 330 kV 侧单相接地短路电流为 67.06 kA;330 kV 侧三相接地短路电流为 57.18 kA;流过主变压器 330 kV 侧的三相短路电流为 10.33 kA。

2016 年  $\pm 800$  kV 灵绍直流及其配套电源投运后,主要的网架变化为 750 kV 沙湖变电站投运,  $\pm 800$  kV 直流工程投运以及宁东直流配套电厂投运。银川东站 330 kV 侧单相接地短路电流为 67.86 kA;330 kV 侧三相接地短路电流为 58.52 kA;流过主变压器 330 kV 侧的三相短路电流为 13.84 kA。

## 1.2 限流效果分析

2014 年冬大方式下,银川东主变压器 330 kV 母线三相短路电流为 57.18 kA,流过主变压器 330 kV 侧的短路电流为 10.33 kA,主变 330 kV 侧中性点串接小电抗后对三相短路电流没有影响。单相短路电流方面,银川东站 330 kV 母线单相短路电流以及主变压器 330 kV 侧流过的单相短路电流如表 1 所示。

表 1 2014 年网架银川东站 330 kV 主变压器中性点串接小电抗单相短路电流

| 串接电抗值          | 单相短路电流/kA | 限流深度/kA |
|----------------|-----------|---------|
| 不串电抗           | 67.06     | -       |
|                | 12.56     | -       |
| 串接 5 $\Omega$  | 60.64     | 6.42    |
|                | 11.42     | 1.14    |
| 串接 10 $\Omega$ | 59.76     | 7.3     |
|                | 11.27     | 1.29    |
| 串接 15 $\Omega$ | 59.41     | 7.65    |
|                | 11.21     | 1.35    |
| 串接 20 $\Omega$ | 59.22     | 7.84    |
|                | 11.17     | 1.39    |

2016 年银川东换流站 330 kV 母线三相短路电流为 58.52 kA, 流过主变压器 330 kV 侧的短路电流为 13.84 kA, 330 kV 主变压器中性点串接小电抗后三相短路电流不变; 330 kV 母线单相短路电流以及主变压器 330 kV 侧流过的单相短路电流如表 2 所示。

表 2 2016 年网架银川东换流站主变压器 330 kV 侧中性点串接小电抗单相短路电流

| 串接电抗值   | 单相短路电流/kA | 限流深度/kA |
|---------|-----------|---------|
| 不串电抗    | 67.86     | -       |
|         | 16.32     | -       |
| 串接 5 Ω  | 58.84     | 9.02    |
|         | 14.2      | 2.12    |
| 串接 10 Ω | 57.59     | 10.27   |
|         | 13.92     | 2.4     |
| 串接 15 Ω | 57.09     | 10.77   |
|         | 13.79     | 2.53    |
| 串接 20 Ω | 56.83     | 11.03   |
|         | 13.73     | 2.59    |

根据表 2 计算结果, 银川东换流站主变压器 330 kV 侧中性点串接小电抗后对三相短路电流没有影响。串接 10 Ω 的小电抗后, 在 2014 年冬大方式及 2016 年网架下, 限流深度分别可达 7.3 kA、10.27 kA, 可将单相短路电流分别降至 59.76 kA、57.59 kA, 满足断路器开断要求, 单相短路电流已接近或低于三相短路电流水平; 串接 15 Ω、20 Ω 小电抗, 限流深度有所增加, 但增加幅度并不是很大。因此选择 2 台主变压器分别串接 10 Ω 电抗的方案。

## 2 电抗器短时工频耐受电压校核和热稳定参数选择

目前, 我国 750 kV 输电系统中, 变压器的中性点经小电抗接地时一般采用 66 kV 电压等级的绝缘水平。文献[3]规定, 对于范围 I ( $1 \text{ kV} < U_m \leq 252 \text{ kV}$ ) 内的设备, 只需用两种标准额定耐受电压足以定义设备的额定绝缘水平:

(1) 标准额定短时(1 min)工频耐受电压, 一般取 140 kV(有效值);

(2) 标准额定雷电冲击耐受电压, 一般取 325 kV(峰值)。

另外, 还要考虑中性点小电抗的动稳定、热稳定等相关参数要求。

对各种非对称故障的计算分析表明, 变电站母线或出线侧发生单相或两相接地故障时, 变压器中性点电抗器的工频电压最高。表 3 给出了银川东 750 kV 换流站主变压器中性点电抗器阻值为 10 Ω 时, 电抗器的工频过电压及电流的计算结果。

表 3 银川东换流站 750 kV 主变压器中性点小电抗工频过电压及电流(幅值)

| 运行方式     | 故障位置      | 故障形式 | 电抗器电压/kV | 电抗器电流/kA |
|----------|-----------|------|----------|----------|
| 2014 年冬大 | 330 kV 母线 | 单相接地 | 52.64    | 5.26     |
|          |           | 两相接地 | 53.85    | 5.39     |
|          | 750 kV 母线 | 单相接地 | 34.02    | 3.40     |
|          |           | 两相接地 | 34.64    | 3.46     |
| 2016 年冬大 | 330 kV 母线 | 单相接地 | 56.62    | 5.66     |
|          |           | 两相接地 | 67.77    | 6.78     |
|          | 750 kV 母线 | 单相接地 | 34.58    | 3.46     |
|          |           | 两相接地 | 35.04    | 3.50     |

从表 3 可以看出, 银川东 750 kV 换流站主变压器中性点加装 10 Ω 电抗器后, 中性点电抗器的最大工频电压为 67.77 kV, 其电压值低于 66 kV 电压等级下的短时工频耐受电压 140 kV, 且裕度较大; 通过主变压器中性点电抗器的最大工频电流为 6.78 kA。文献[4]规定, 承受短路耐热能力的电流的持续时间为 2 s。由计算结果可知, 通过银川东站主变压器中性点电抗器的最大工频电流为 6.78 kA(有效值)。因此, 主变压器中性点短时热稳定电流可按 8 kA(有效值), 10 s 选取, 且有一定的裕度。

## 3 电抗器操作过电压计算和动稳定要求

### 3.1 电抗器避雷器的选择

主变压器中性点电抗器上经受的操作和雷电过电压与中性点避雷器的额定电压等级有关, 避雷器的选择既要保证被保护设备的安全, 又要保证避雷器自身的安全。

表 3 计算结果表明, 在故障条件下, 银川东换流站变压器中性点的最高工频电压为 67.77 kV。

为了确保避雷器能够耐受工频过电压并有一定的裕度,上述变压器中性点可选择额定电压为 96 kV 的金属氧化物避雷器。根据文献[5]可确定,该型号避雷器的参数(见表 4)。

表 4 主变压器中性点避雷器参数

| 额定电压/<br>kV(有效值) | 避雷器持<br>续运行电<br>压(有效<br>值)/kV | 直流 1 mA<br>参考电压/<br>kV | 操作冲击<br>残压(峰<br>值)/kV | 1.5 kA 雷<br>电冲击残<br>压(峰值)/<br>kV |
|------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 96               | 77                            | 137                    | 243                   | 260                              |

3.2 电抗器操作过电压和电流计算

对银川东变电站变压器接地故障、合空载变压器、线路合闸及单相重合闸操作时中性点操作过电压及暂态电流进行计算,变压器中性点的避雷器额定电压为 96 kV。

表 5 给出了接地故障情况下,银川东换流站变压器中性点电抗器上的操作过电压、最大暂态电流和中性点避雷器的能耗。

表 5 银川东换流站 750 kV 主变压器中性点串接 10 Ω 小电抗接地故障操作过电压及电流

| 运行<br>方式   | 故障<br>位置     | 故障形式 | 电抗器<br>电压峰<br>值/kV | 电抗器<br>电流峰<br>值/kA | 中性点避雷器<br>电流/A | 能耗/kJ |
|------------|--------------|------|--------------------|--------------------|----------------|-------|
| 2014<br>冬大 | 330 kV<br>母线 | 单相接地 | 99.46              | 10.24              | <0.001         | <1    |
|            |              | 两相接地 | 90.0               | 11.58              | <0.001         | <1    |
|            | 750 kV<br>母线 | 单相接地 | 79.48              | 4.19               | <0.001         | <1    |
|            |              | 两相接地 | 69.78              | 5.57               | <0.001         | <1    |
| 2016<br>冬大 | 330 kV<br>母线 | 单相接地 | 127.29             | 13.61              | <0.001         | <1    |
|            |              | 两相接地 | 106.91             | 17.70              | <0.001         | <1    |
|            | 750 kV<br>母线 | 单相接地 | 72.96              | 5.68               | <0.001         | <1    |
|            |              | 两相接地 | 65.84              | 6.17               | <0.001         | <1    |

从表 5 中可以看出,银川东换流站变压器中性点加装 10 Ω 电抗器,在接地故障情况下,电抗器上的最大操作过电压为 127.29 kV,最大暂态电流 17.7 kA,接地故障的暂态过程中,变压器中性点避雷器的能耗都小于 1 kJ。

表 6 给出了银川东换流站合空载变压器、线路断路器合闸、单相重合闸操作情况下,变压器中性点电抗器的操作过电压、最大暂态电流和中性点避雷器的能耗。

从表 6 中可以看出,银川东换流站变压器中性点加装 10 Ω 电抗器,750 kV 侧合空载变压器操作时,变压器中性点最大操作过电压为 112.5 kV,

表 6 银川东换流站 750 kV 主变压器中性点串接 10 Ω 小电抗操作过电压及电流

| 运行<br>方式   | 操作<br>方式        | 操作侧    | 电抗器<br>电压峰<br>值/kV | 电抗器<br>电流峰<br>值/kA | 中性点<br>避雷器<br>电流/A | 能耗/kJ |
|------------|-----------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| 2014<br>冬大 | 合空变             | 330 kV | 91.14              | 4.3                | <0.001             | <1    |
|            |                 | 750 kV | 110.6              | 2.4                | <0.001             | <1    |
|            | 合空线             | 330 kV | 47.97              | 0.11               | <0.001             | <1    |
|            |                 | 750 kV | 11.37              | <0.1               | <0.001             | <1    |
|            | 线路<br>单相<br>重合闸 | 330 kV | 38.48              | 0.1                | <0.001             | <1    |
|            |                 | 750 kV | 8.45               | <0.1               | <0.001             | <1    |
|            | 合空变             | 330 kV | 92.31              | 4.4                | <0.001             | <1    |
|            |                 | 750 kV | 112.5              | 2.8                | <0.001             | <1    |
| 2016<br>冬大 | 合空线             | 330 kV | 50.23              | 0.15               | <0.001             | <1    |
|            |                 | 750 kV | 12.48              | <0.1               | <0.001             | <1    |
|            | 线路<br>单相<br>重合闸 | 330 kV | 40.45              | 0.12               | <0.001             | <1    |
|            |                 | 750 kV | 9.31               | <0.1               | <0.001             | <1    |

330 kV 侧合空载变压器操作时,电抗器的最大电流为 4.4 kA。中性点加装电抗器后,对 750 kV 和 330 kV 系统的合闸及单相重合闸操作过电压影响极小。

综上计算分析,银川东换流站变压器中性点加装 10 Ω 电抗器,电抗器上的最大操作过电压为 127.29 kV,最大暂态电流 17.7 kA。接地故障的暂态过程中,变压器中性点避雷器的能耗都小于 1 kJ。

3.3 电抗器动稳定要求

动稳定电流应考虑单相和两相短路时的非周期分量,以短路电流的第一个峰值来校验其动稳定,短路电流的第一个峰值的大小与接地发生时交流电压的相位、系统运行方式和系统的阻尼大小等因素有关。

由前面的计算结果可知,银川东换流站变压器中性点加装 10 Ω 电抗器后,通过中性点电抗器的最大暂态电流为 17.7 kA(峰值),考虑一定的裕度,建议其动稳定电流按 20 kA(峰值)选取。

3.4 雷电冲击耐受电压校核

电抗器保护用避雷器的参数见表 4。文献[6]规定,对设备进行绝缘配合时,需要考虑设备的额定雷电冲击耐受电压与避雷器保护水平间的安全裕度系数 Ks,避雷器紧靠被保护设备时,Ks≥1.25。选择额定电压为 96 kV 的避雷器时,其雷电冲击电流下的残压为 260 kV(峰值)(1.5 kA 等级)。66 kV 设备的雷电冲击耐受电压为 325 kV,其安

全系数为 1.25,满足绝缘配合要求。

## 4 研究结果

(1)±660 kV 银川东换流站主变压器中性点串接 10 Ω 小电抗,对单相接地短路电流的限流深度可达 7.3 kA 和 10.27 kA,接近和低于三相短路电流水平,满足国家标准要求,推荐采用 10 Ω 小电抗。

(2)银川东 750 kV 换流站主变压器中性点加装 10 Ω 电抗器,电抗器所承受的最大工频过电压为 67.77 kV,通过电抗器的最大工频电流为 6.78 kA;电抗器上的最大操作过电压为 127.29 kV,最大暂态电流 17.7 kA。

(3)银川东 750 kV 换流站主变压器中性点加装 10 Ω 电抗器,变压器中性点电抗器的短时热稳定电流可取 8 kA(有效值,10 s);动稳定电流建议按 20 kA(峰值)选取。

(4)变压器中性点可选择额定电压为 96 kV 的金属氧化物避雷器,其雷电冲击电流下的残压为 260 kV(峰值)(1.5 kA 等级),各种操作方式下避雷器所吸收的能量均小于 1 kJ。

(5)变压器中性点和中性点电抗器均采用 66 kV 级的绝缘水平,短时工频耐受电压为 140 kV,大于电抗器所承受的最大工频过电压(67.77 kV),且裕度较大;雷电全波和截波耐受电压为 325 kV,与

(上接第 6 页)

(5)固原地区机组及大坝电厂 4 号机组对黄安断面灵敏度接近 0,对断面潮流的影响可以忽略不计,增加其电源出力可在不影响黄安断面的情况下增加甘宁断面外送功率。

(6)电网运行中可通过增加中卫地区电源出力、降低罗山地区机组出力来减轻黄安断面潮流,从而提高甘宁断面外送电能力。还可以通过增加固原地区机组出力及大坝电厂 4 号机组出力来提高外送电能力。

(7)通过调整运行方式缓解黄安断面 3 回重载情况,可将甘宁断面外送电能力提高 1 300 MW 以上。计划在中卫地区变电站布置增加 400 MW 切负荷量,可将甘宁断面送出极限提高 800 MW 以上。

保护避雷器的安全系数为 1.25,满足绝缘配合要求。

## 5 结论

(1)±660 kV 银川东换流站主变压器中性点串接 10 Ω 小电抗,短时热稳定电流按 8 kA(有效值,10 s)选取;动稳定电流按 20 kA(峰值)选取,变压器中性点选择额定电压为 96 kV 的金属氧化物避雷器,可以满足限制该站 330 kV 母线单相短路电流的要求。

(2)中性点串接电抗器是限制单相短路电流最有效的一种方法,本文研究结果为限制±660 kV 银川东换流站 330 kV 母线单相短路电流的中性点电抗器配置及过电压绝缘配合提供了设计依据。

### 参考文献:

- [1] 孙树敏,刘洪顺,李庆民,等.电力系统故障限流器研究综述[J],电网技术,2008,32(21):75-79.
- [2] 江道灼,敖志香,卢旭日,等.短路限流技术的研究与发展[J].电力系统及其自动化学报,2007,19(3):8-19.
- [3] GB 311.1—2012,绝缘配合 第 1 部分:定义、原则和规则[S].
- [4] GB 1094.5—2003,电力变压器 第 5 部分:承受短路的能力[S].
- [5] GB 11032—2010,交流无间隙金属氧化物避雷器[S].
- [6] GB 311.7—1988,高压输变电设备的绝缘配合使用导则[S].
- [7] 弋东方. 电气工程电气设计手册 电气一次部分[M],北京:中国电力出版社,1989.

### 参考文献:

- [1] 王亮. 电力系统输电断面搜索与输电能力分析[D]. 华中科技大学,2012.
- [2] 寇岩. 电力系统输电断面的研究[D]. 山东大学,2012.
- [3] 吴明波. 热稳定约束下断面潮流极限算法研究[D]. 天津大学,2007.
- [4] 崔晓丹,方勇杰,周霞,等. 基于风险的输电断面经济输电功率计算[J]. 电力系统自动化,2014,08:30-34.
- [5] 曾梅清,田大钢. 线性规划问题的算法综述[J]. 科学技术与工程,2010,01:152-159.
- [6] 盛仲飙. 基于 Matlab 的线性规划问题求解 [J]. 计算机与数字工程,2012,10:26-27,80.