

超 高 压 输 变 电

# 动 态 报 导

( 设 计 分 网 )

超高压输变电专业技术情报网

第 12 期

---

水利电力部东北电力设计院编印

1984年3月 长 春

## 目 录

|  |    |
|--|----|
| 500 千伏董辽试验线段, 系统调试报导(一次线部分) .....            | 1  |
| 500 千伏董辽变电工程系统调试情况报导(二次线部分) .....            | 11 |
| 葛双 500 千伏输电线路桩壳装配式基础研究试验应用报导 .....           | 16 |
| 世界上特高压输电工程现状与发展前景 .....                      | 22 |
| “葛洲坝——上海直流输电工程换流站设备功能规范书” 予<br>审会议情况报导 ..... | 32 |
| 高压直流输电动态综合报导 .....                           | 39 |
| 超高压输变电技术标准索引 .....                           | 45 |
| 小 统 计 .....                                  | 51 |
| 编者说明 .....                                   | 52 |

## 500千伏董辽试验线段系统调试报导(一次线部分)

采用国产设备的500千伏董辽输变电系统,于83年10月22日开始系统调试,11月24日完成了预定的调试内容。(调试项目见《超高压输变电动态报导》第11期,东北电力设计院83年12月出版)兹简单介绍如下:

### (一) 概况

#### 一、系统递升加压

递升加压试验以锦州电厂<sup>#1</sup>机组为电源(发电机容量为200MW,额定电压为15.75千伏),带有董家(即锦州)、辽阳两变电所的全部设备及董辽500千伏输电线路,由于励磁机的剩磁作用,使发电机的电压不能太低,其最低电压为10.9千伏,此时董家变500千伏母线电压为370千伏,辽阳变500千伏母线电压为380千伏,电压逐步递升,当发电机出口电压为15.75千伏时,董家变500千伏母线电压为535千伏,辽阳变500千伏母线电压达到系统最高运行电压550千伏,停留10分钟后,电压降为零。

在递升加压过程中,同时进行了三项测试:

- 1、主变压器伏安特性。
- 2、并联电抗器伏安特性。
- 3、离主母线端部20米外,无线电干扰水平。

10月25日,调试系统充电运行24小时,同时进行了电晕观察,非但无可见电晕,而且普遍认为,500千伏变电所的电晕放电声,明显的较一般220千伏变电所的电晕放电声小。

在调试系统充电运行24小时的同时,还测试了500千伏配电装

置内个别点的静电感应场强,以及500千伏董辽输电线路对通讯线路的静电干扰。

## 二、投切空载变压器及电抗器：

由于并联电抗器的操作开关KW<sub>4</sub>-500爆炸(具体情况见后),未进行并联电抗器的投切试验。

董家变电所的空载变压器投切试验由辽阳侧经500千伏董辽线供给电源,先以A、B、C三台单相变压器组成的变压器组,空载投切各三次,然后再以A、B、D三台单相变压器组成变压器组,再进行三次投切,董家变500千伏母线电压为535~550千伏,从这十八相次投切试验的示波图中可以看出,KW<sub>4</sub>-500断路器的截流断值一般在5安以下,最大值为7.3安。

辽阳变电所的空载变压器投切试验,则由董家变经500千伏董辽线供给电源,同样进行了十八相次的投切试验,而KW<sub>6</sub>-500断路器切断感性电流时的截流数值为1~3安。

## 三、投切空载线路试验：

500千伏董辽试验线路巨长159.3公里,董家变电所侧线路的操作用的是KW<sub>4</sub>-500断路器,辽阳侧为KW<sub>6</sub>-500断路器。由于断路器并联电阻热容量的限制,投切空载线路由董辽两侧交替进行试验,共进行投切各20次,即在线路接有并联电抗器时,董、辽两侧各进行了五次投五次切,在线路不并电抗器的情况下,又各进行了五次投五次切。从初步分析可看出,实测所得的内过电压数值均小于设计水平。

## 四、人工接地短路试验：

人工接地点设在董家变电所内,A相及C相各进行二次瞬间人工

接地试验。B相进行了一次永久性人工接地试验，由于试验时投入了重合闸装置，当永久性人工接地试验时，断路器重合后再次切除故障，事实上A、B、C三相都进行了二次人工接地短路试验。在A、B相人工接地试验时，500千伏董辽线上接有120兆乏并联电抗器，而在C相试验时拆除了并联电抗器。

由于试验条件的限制，接地短路电流的交流分量仅四干安（有效值），在接有并联电抗器及中心点小电抗时，测得潜供电流为5.6安（有效值），持续时间0.07秒左右。在无并联电抗器时的潜供电流为16安（有效值），持续时间约0.28秒。变电所接地网的电位升高116.5伏（有效值）。

在人工接地短路试验时，所有保护装置均投入考验，试验时由于电压互感器二次回路多点接地，在电压回路的零线形成分流回路，使电压互感器的二次回路出现假电压，保护装置的动作情况及电压回路出现假电压的问题，另有资料具体介绍。

#### 五、隔离开关切合小电容电流试验：

隔离开关切合小电容电流试验，也是在董家变电所侧进行的。首先以GW<sub>6</sub>-500隔离开关单相切合空母线各五次，然后又三相切合空母线各五次，最后是以GW<sub>7</sub>-500隔离开关切合电容式电压互感器，单相进行了切合各二次，三相进行了切合各一次，空母线的电容电流在0.54安到0.59安之间，电容式电压互感器的电容值为5000PF（约0.5安）。

虽然试验前估计到过电压水平不可能达到避雷器操作波放电电压的下限值，且有一定裕度，但为安全起见，在试验的前二次，还是拆除了避雷器，代之以1.8米的空气间隙，防止避雷器连续动作，接

连切断工续流，引起避雷器损坏，甚至爆炸。

试验测得，隔离开关切合小电容电流的燃弧时间为1.3~1.5秒，拉弧长度约1米，振荡频率为100到400千周。

试验时还在被试母线的下方，平行放置了五种不同结构的控制电缆，分别测量其干扰数值，与该工程采用的KXQ<sub>0</sub>型控制电缆进行比较。

## (二) 调试中发生的几个问题

### 一、KW<sub>2</sub> - 500 断路器爆炸：

董家变电所共安装三组KW<sub>2</sub> - 500断路器，一组安装在500千伏董辽线回路，另一组在旁路回路，第三组安装在并联电抗器回路，爆炸的是电抗器回路A相断路器。

KW<sub>2</sub> - 500断路器由西安高压开关厂生产，在西高厂与东北电力设计院共同签订的KW<sub>2</sub> - 500断路器技术协议中，明文规定该断路器应具有开断120~180兆乏并联电抗器的能力，在系统调试启动会上西高厂也表示该断路器具备参加调试的条件，并在10月25日系统充电运行24小时的过程中，由于未打开电抗器与油枕间的油阀而引起电抗器冒油，用该断路器切除120兆乏并联电抗器时也未发生问题。

爆炸是在准备投切空载变压器时发生的，当时由辽阳变电所编500千伏董辽线向董家变供电，为了使董家变500千伏母线接近系统最高运行电压550千伏，用该断路器切除董辽线并联的120兆乏电抗器，操作前断路器三相电流均为125安左右，分闸后B、C相

表计指示为零，A相指针在105安左右，中心点小电抗发出怪声，A相断路器灭弧室钢缸冒烟，随即断路器爆炸，爆炸时断路器的引线拉断了一相500千伏线路型避雷器并联电抗器的一支500千伏套管及一支500千伏支持绝缘子。从发出断路器分闸脉冲到断路器爆炸，历时约三分钟。

事故后，制造部门认为事故原因是由于该型断路器的灭弧性能太强，在切断电感电流过程中产生截流过电压，导致断路器爆炸。结论是该型断路器，不具备切小电感电流的能力，不能安装在并联电抗器回路。

但另一些同志认为，上述解释不能令人信服，其理由有三：

1、该断路器断口间的操作波耐受电压名牌值为 $1035+450$ 千伏，断口两侧均并有500千伏线路型避雷器，该避雷器操作波放电电压的上限值为1200千伏，在切电抗器的六相次中，均无避雷器放电的记录，在被拉断的避雷器元件上也未发现放电的痕迹。当然，避雷器制造厂不会接受避雷器失灵的意见。

2、电抗器回路的参数是：并联电抗器为2500欧姆；中心点小电抗为700欧姆；一相拒分后的电流为105安；并联电抗器高压端的对地电容约2000PF；避雷器的对地电容约600PF；引线的对地电容约200PF；在调试过程中测得该型断路器切电感电流的截流数值一般在5安以下，最大值为7.3安，计算所得的截流过电压值难以接近足以使断路器爆炸的数字。

3、假如该型断路器不具备切断小电感电流的能力，则将存在这样的概率：即当变压器发生内部匝间短路，或有载调压分接开关间发生短路，如果此时反应到500千伏侧的故障电流刚好又在125安左

右，而保护回路动作后又是220千伏侧先断开，则500千伏侧的主变断路器（目前董家变旁路断路器作主变开关用），将不能切除故障。断路器失灵保护将动作于切500千伏董辽线断路器，而该断路器又是KW<sub>4</sub>-500型，又不具备切小电感电流的能力，而董辽线辽阳侧的总故障电流又小于正常负荷电流，后果很难想象。

总之该断路器的爆炸原因目前尚不十分明确，意见尚有分歧。

## 二、电流互感器小套管闪络：

当进行隔离开关切，合空母线时，发现500千伏电流互感器顶部L<sub>1</sub>端子处有火花放电，经检查小套管上有放电痕迹，分析认为由切合空母线的高频电流引起。

该电流互感器由沈阳变压器厂制造，根据双方协议，电流互感器一次端子间的工频耐受电压为2千伏。一次线圈的电感为 $14.83 \times 10^{-6}$ 亨利。试验测得高频电流约1千安，频率为100~400千周，不难算出一次线圈的端子间将产生9至37千伏的压降，而工频耐压仅2千伏，即使考虑冲击系数，也不能承受这样高的压降。因此可以设想，当10千安雷电波通过时，也将产生小套管闪络或匝间绝缘击穿。

根据平武工程资料介绍，进口电流互感器备有涌流释放器。过去生产的LCWD<sub>1</sub>-220型电流互感器也并联有放电阀片。

考虑到500千伏系统短路电流的直流分量衰减较慢，普通阀片不易保证在短路电流的第一第二个周波内灭弧，初步考虑有三种改进方案，即：

- 1、在一次线圈的端子间并联氧化锌阀片。
- 2、在一次线圈的端子间并联一定容量的无极性电容器。
- 3、1、2两方案同时并用。



改进措施目前正在商讨中。

### 三、电流互感器引线端子强度不足：

在电流互感器签订技术协议时，使用部门要求电流互感器的引线端子应能承受150公斤的垂直荷载，由于国家标准及I、E、C均无这一条款，故未订入协议。但制造厂曾在引线端子上挂了二百二十公斤的垂直荷载进行过试验，因此，制造厂认为引线端子承受50~70公斤的垂直荷载是没有问题的。

电流互感器到空气断路器间的引线长度，不到五米，计算可知，即使在导线复冰的情况下电流互感器引线端子上的垂直荷重也不过50公斤。但在安装后发现，部分电流互感器的引线端子压弯并漏油。

分析认为，500千伏电流互感器的引线，采用的是LGJQT-1400，其直径为51毫米，存在一定的刚度，因此电流互感器端子除承受垂直力外，还需承受垂直力产生的弯矩，这一弯矩在正常情况下可达到20公斤·米，导线复冰时可达30公斤·米，而制造厂进行试验所加的220公斤垂直力是挂在端子的中央，所承受的弯矩约16.5公斤·米，显然不能满足要求，因此，电流互感器端子采取了补强措施。

### 四、变压器油的含气量不断增高

根据平武工程资料，进口的变压器油具有吸气性能，而国产的#45变压器油却存在释气的性能，而且国产变压器的结构又不是全封闭式，因此在变压器油处理合格后其含气量不断上升。开始，制造厂要求变压器油的含气量不大于1%变压器才能投入运行，在安装过程中发现含气量不断上升，经一机、水电二部共同协商，将含气量的标准放宽到投入运行时不大于2.5%，运行中监视标准为不大于5%，但在

调试时，则大于这一标准，二部协商后采取二项措施，其一是将变压器与大气相通的防爆管取消，改用密封的压力释放装置。其二是将含气量标准再次放宽到投入运行不大于5%，运行中监视不大于8%。

## 五 棒形瓷瓶断裂

以前曾报导过，GW<sub>6</sub>-500隔离开关安装后，尚未连接引线，在18米/秒风速下由于棒形瓷瓶断裂而引起GW<sub>6</sub>-500隔离开关倒塌，该隔离开关的设计风速为35米/秒，同时引线端子处还容许承受300公斤的拉力。为此决定将GW<sub>6</sub>-500隔离进行补强，底部三节瓷瓶由二柱改为三柱，该棒形瓷瓶由抚顺电瓷厂生产，在补强过程中又发现多节瓷瓶已断裂，甚至在仓库存放的棒形瓷瓶也有断裂。

83年11月24日系统调试结束，进行适当处理后拟于12月20日左右投入试运，但19日晨6时巡视时发现董辽线出口GW<sub>7</sub>-500的一侧瓷瓶与其引线的500千伏支持瓷瓶（抚顺电瓷厂产品）均已断裂。GW<sub>7</sub>-500隔离开关系西安高压开关厂生产，使用的是西安电磁厂的棒形瓷瓶，而18日24点巡视时二者尚完整无缺，根据气象资料及值班运行人员的报告，当晚无风，但由于二者连在一根导线上，事故由谁引起，很难分析。

经更换瓷瓶后拟于84年1月25日投入试运行，但于23日又发现母线隔离开关处的500千伏支瓷瓶又断裂。

总之500千伏用的棒形瓷瓶，已发生了十多次断裂，而这十多次断裂都发生在冬天或在初春发现，断裂时所受的机械荷载均远小于名牌强度，人们有理由怀疑是由于低温引起的，而这批产品并未进行过

低温下的强度试验。

## 三 结 束 语

500千伏董辽试验线段已于1984年1月27日投入带电考核，并计划于5月1日投入试运行，从安装调试的过程来看，这批我国第一次生产的500千伏超高压输变电设备，的确存在不少这样或那样的问题，但较我国第一批生产的330千伏输变电设备，有了明显的改进质量也有所提高，下列数据或可说明问题。

辽阳变电所主变压器（西安生产）

500千伏侧充电：合9次；切8次。

220千伏侧充电：合18次；切17次。

董家变电所主变压器（沈变生产）

500千伏侧充电：合7次；切7次。

220千伏侧充电：合16次；切16次。

短路冲击：A、B、C三相各二次。

辽阳变电所KW<sub>6</sub>-500断路器（西高生产）：

主变断路器：合30次；切27次。

线路断路器：合53次；切53次。

董家变电所KW<sub>4</sub>-500断路器（西高生产）：

旁路断路器：合31次；切32次。

线路断路器：合52次；切51次。

电抗器断路器：合1次；切2次。（在第二次切时A相爆炸）

变压器带负荷调压分接头开关操作次数：

董家变电所：268 头次。

辽阳变电所：293 头次。

隔离开关操作次数未统计，不带电的操作及安装过程中的操中均未统计。

我国第一批国产 500 千伏超高压输变电设备经过上述操作后，已于 84 年 1 月 27 日投入带电考核，它们的质量到底怎样，有待运行考验，目前还不能作出结论。

东北电力设计院 王世尧

## 500 千伏董辽变电工程系统调试情况报导(二次线部分)

500 千伏董辽输变电工程系统调试工作是从 1983 年 10 月 23 日开始的,近一个月的调试对所有一次,二次设备,施工,设计进行了全面的考核,为今后我国 500 千伏变电工程的设计,施工和设备制造积累了经验。同时也发现了我国自行设计,施工,和全部由国产设备装备起来的第一个 500 千伏输变电工程中存在的不足之处。现在仅就 500 千伏锦辽两变电工程施工,调试以来二次线方面的情况简单介绍如下:

### 一、控制系统情况

董辽两工程总体控制方式上采用了由主控制室集中控制方式。在变电所设有集中控制用的主控制室,保护装置控制设备,测量表计和其他二次线设备都布置在主控制室内。在主控制室对全变电所进行控制。这种控制方式有利于二次设备的集中统一管理,维护;符合我国的运行习惯。调试以来证明这种控制方式对 500 千伏变电所是可行的。这种控制方式的不足之处是控制电缆的耗用量大,电缆及电缆设施的投资大。

断路器采用了一对一的弱电控制方式。采用这种方式有利于缩小控制屏的监视面,减小控制室面积,和其他弱电控制方式相比有控制回路简单,可靠性高的优点。调试以来通过多次的操作证明这种控制方式是可行的。这种控制方式所采用的 RW<sub>2</sub> 型弱电控制开关质量比以

往有所提高，但调试以来也曾发现有个别接点接触不良，切换不准确现象。说明目前国产弱电控制设备质量尚未过关。

变电所的220千伏以上的隔离开关采用成组选控方式进行控制。这种方式既可实现隔离开关的远距离控制，而隔离开关的控制设备在盘上所占的位置又比较少，有利于解决500千伏变电所被控制的对象多，控制屏（台）布置拥挤的矛盾。调试以来证明这种控制方式对500千伏变电所是比较适合的。这种控制方式在调试中出现的主要问题是隔离开关的联锁接点质量不好，切换不准确，有时造成控制回路不通，操作失灵等现象。

## 二、信号系统

蓝辽两工程仍采用由冲击继电器构成的信号系统，这种信号系统与以往220千伏变电所采用的信号系统，在原理上是相同的。目前国内还不能生产其他原理的信号系统。调试以来实践表明，这种信号系统基本上能满足500千伏变电所运行的要求。调试期间曾发生因同时动作的信号数目多而烧坏冲击继电器现象。后来在冲击继电器的起动回路并联分流电阻而解决了这一问题，从长远来看，这种信号系统用于500千伏变电所还有一些缺点，目前急需研制一套新的信号系统。并使信号系统能和计算机系统结合。

## 三、测量装置

在两变电所中除装设常规的测量表计外，还装了一套200点巡回

**检测装置，对变电所的各电气量和变压器，电抗器温度进行巡回检测。**董家（锦州）变电所的巡检装置运行情况良好，辽阳变电所的巡检装置还没调好。对电气量的测量，巡检装置的准确度比常测表计高，因为是数字显示。所以监视、读数都比较方便。巡检装置的内部抗干扰性能较差，在500千伏电抗器操作时产生的电磁干扰，使装置工作不正常。因此，在利用隔离开关切合母线试验时，巡检装置不敢投入使用。

#### 四、元件保护

500千伏主变压器装设了：大差动；分差动；500千伏侧低阻抗；220千伏侧低阻抗；中性点零序过电流；过励磁、过负荷、瓦斯等保护装置。这些保护装置在调试过程中受到了全面考验。在调试过程中董家变的大差动，分差动，低阻抗，过励磁；辽阳变的分差动，过励磁均发生过误动作。其中董家变的大差动保护的误动作是由于低压侧电流互感器特性不好在短路电流为3.7倍情况下就饱和，造成差动误动。后来把低压侧电流互感器从差动保护中摘除，并且改变了差动保护接线问题就解决了。过励磁保护的定值经常误动作，原因是定值太低，动作太快，电容式电压互感器的暂态电压造成过励磁保护误动。后来，提高了保护的定值，加长了继电器的延时，误动的问题得以解决。分差保护和低阻抗保护的误动作都是由于现场接线错误造成的。例如：电流互感器的极性接错，低阻抗保护电压回路漏接等。通过调试发现了设备缺欠和施工中的接线错误。目前这些保护均已投入运行，通过调试证明，变压器保护的原理和接线设计是合理的。

500千伏并联电抗器保护在调试以来未动作过。调试过程中发生了

电抗器回路断路器爆炸，目前电抗器直接接到500千伏线路上，为断开电抗器内部故障，准备装设远方跳闸装置。

## 五、其他二次线问题

### 1、电压互感器零相公用接地小母线引起的干扰问题：

以往的发电和变电二次线典型设计，电压互感器零相都是公用接地小母线（YMb），而每组电压互感器的零相都在户外作安全接地。这样，不同电压等级的各组电压互感器的零相通过零相电缆芯和公用的零相小母线连在一起并在各配电装置电压互感器端子箱接地，结果就形成了零相电缆芯和接地网的并联，在发生单相接地短路时，接地网中的电流就有一部分分流在零相电缆芯中，这一电流在零相和其他各相中引起干扰电压，在锦州变单相接地短路试验时，测得这一干扰电压达额定相电压的 $\frac{1}{3}$ 。这一干扰电压会造成线路保护的不正确动作，引起严重后果。董辽两工程目前针对这个问题已把各侧电压互感器在户外的零相接地点拆开，在户内接地小母线上作集中接地点。按这种接地方式，在接地短路时零相干扰电压接近于0，作为工程问题已经解决了。至于今后电压互感器应采取怎样的接地方式尚需进一步研究。

### 2、220KV母线分频谐振问题

在董家辽阳两变电所都发生过220KV母线电磁式电压互感器和母线电容，SF<sub>6</sub>断路器断口的并联电感发生谐振现象。这种谐振现象目前还没有采取有效的措施予以消除。谐振现象的出现带有很大的偶然性，在运行操作上注意避免谐振工况的出现，是消除分频谐振的一种



办法。

### 3、二次回路的抗干扰设计问题

500千伏变电所的电磁干扰强度较大，又有较多的继电保护和自动装置由半导体元件构成，对电磁干扰较为敏感。因此，抗干扰设计就显得特别重要。这两个工程在二次回路抗干扰方面主要采取两项措施：第一，采用铅包，钢带铠装控制电缆；第二，电缆铝包和钢带两端接地。调试以来证明，这两项抗干扰措施是很有效的。在上海电缆研究所内所作的干扰试验也证明，铝包，钢带铠装电缆的抗干扰效果比其他屏蔽电缆好。在调试中无论是在用隔离开关切合空母线或者在单相接地短路试验时，测得的最高干扰电压在直接耦合情况不超过500伏，在非直接耦合情况不超过200伏，该干扰电压都低于半导体保护允许的干扰电压水平。

以上情况仅为施工，调试以来发现的主要问题。目前董辽500千伏输变电工程刚刚投入运行，施工、设计、设备方面的问题还未充分暴露出来，还需经长时间的运行考虑。

东北院 宋继成