

# 系统负相序对变压器差动保护的影响

郭润生, 何彩虹

(朔州供电分公司调度通信中心, 山西 朔州 036002)

**摘要:** 根据应县魏庄变一次系统为负相序的具体实例, 利用向量图分析法, 深入详细地分析了国内变压器微机保护在一次正相序系统和一次负相序系统中应用时各侧电流的相位关系, 并进行了比较, 指出只要按变压器本身的接线组别, 各侧绕组和CT的二次实际接线方式设置相应控制字, 变压器微机差动保护就能正常运行。并提出具体应对措施, 对现场工作具有现实指导价值。

**关键词:** 负相序; 接线组别; 向量图; 差动保护

## The influence of negative phase sequence system to differential protection for main transformer

GUO Run-sheng, HE Cai-hong

(Shuozhou Power Supply Corporation of SEPC, Shuozhou 036002, China)

**Abstract:** The phase relation among side electric currents of internal transformer microcomputer protection in the primary positive phase sequence system is different from those in the primary negative phase sequence system, this difference was analyzed thoroughly and detailedly by vector diagram, according to the instance of negative phase sequence primary system in Weizhuang station, Yinxian county, the analyzing result indicates that the transformer microcomputer differential protection runs normally if every side coil winding and secondary wiring pattern establish control word corresponding to the wiring group of transformer, and exact methods solving the problem are carried out, these practically valuable methods may improve on-site jobs.

**Key words:** negative phase sequence; wiring group; vector diagram; differential protection

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)24-0113-05

## 0 引言

07年11月,朔州供电分公司检修公司保护班接受了应县魏庄110 kV变电站改造工程主变保护调试及送电任务。魏庄110 kV变电站主变保护采用的是北京四方公司CSC326FA主后一体化微机变压器保护。变压器各侧比差和角差的平衡都由软件来实现。二次接线可以不考虑电流相位引起的不平衡电流问题,只需将相关变压器参数输入定值即可。

在调试主变保护过程中,调试人员发现主变后备保护负序电压元件频繁动作,并发出告警信号,经仔细检查发现魏庄110 kV变电站一次系统电源是负相序。为保证进入保护装置的二次电流(压)相序和系统一次相序相对应,施工人员在变压器保护屏端子处将进入保护装置的二次电流(压)的B、C相对调,即人为把进入保护装置的二次电流(压)相序改为正相序。这样就解决了主变后备保护负序电压元件频繁动作的问题,保护装置告警信号现象也消除了。主变相关参数定值仍按照主变实际情况

整定。

主变保护调试后,带负荷进行向量测试(主变运行方式是:110 kV、35 kV侧运行,10 kV侧停运)。主变110 kV侧电流向量超前35 kV侧电流向量 $210^\circ$ (沿顺时针方向)。同时,主变差动保护显示出差流,且差流数值恰好等于主变高压侧二次电流。主变110 kV侧电流向量为何超前35 kV侧电流向量 $210^\circ$ (沿顺时针方向)而不是我们所熟悉的 $150^\circ$ ?主变差动保护为何出现差流,且差流数值恰好等于主变高压侧二次电流?具体分析过程如下:

## 1 系统电源正相序时 Y/ $\Delta$ -11 接线组别变压器的向量图分析

在图1中:

$\dot{I}_{1AY}$ 、 $\dot{I}_{1BY}$ 、 $\dot{I}_{1CY}$ 为变压器Y侧A、B、C一次电流; $\dot{I}_{1a\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1b\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1c\Delta}$ 为变压器 $\Delta$ 侧A、B、C一次电流; $\dot{I}_{1ABY}$ 、 $\dot{I}_{1ab\Delta}$ 为变压器Y、 $\Delta$ 侧AB相一次电流;A、B、C为变压器Y侧线圈首端三相编号;X、Y、Z为变压器Y侧线圈末端三相编

号; a、b、c 为变压器  $\Delta$  侧线圈首端三相编号; x、y、z 为变压器  $\Delta$  侧线圈末端三相编号。

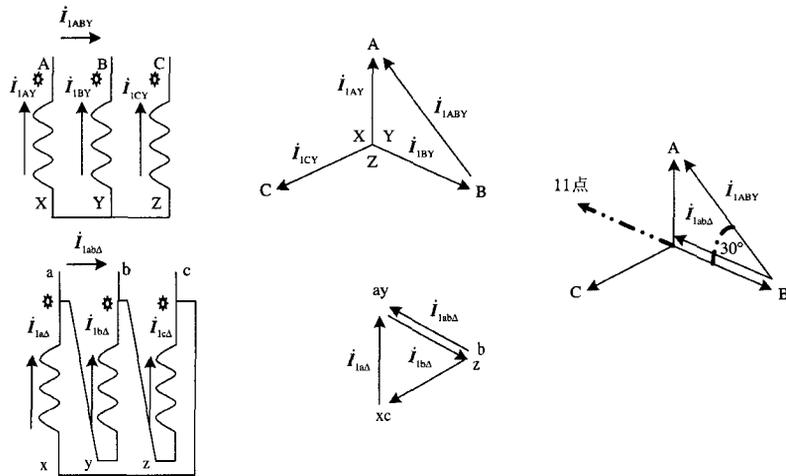


图 1 系统电源正相序时 Y/Δ-11 接线组别变压器的向量图

Fig.1 The vector diagram of system power source for Y/Δ-11 wiring group transformer in positive phase sequence

从图 1 向量图分析得出: 对 Y/Δ-11 接线的变压器, 系统电源正相序时, 其高压侧和低压侧电(压)流向量相差 330° (沿顺时针方向), 即以高压侧电(压)流向量方向指向作为长针, 指向 12 点, 则低压侧电(压)流向量方向指向 11 点。如图所示

$i_{ABY}$  和  $i_{ab\Delta}$  相差 330° (沿顺时针方向)。

## 2 系统电源负相序时 Y/Δ-11 接线组别变压器的向量图分析

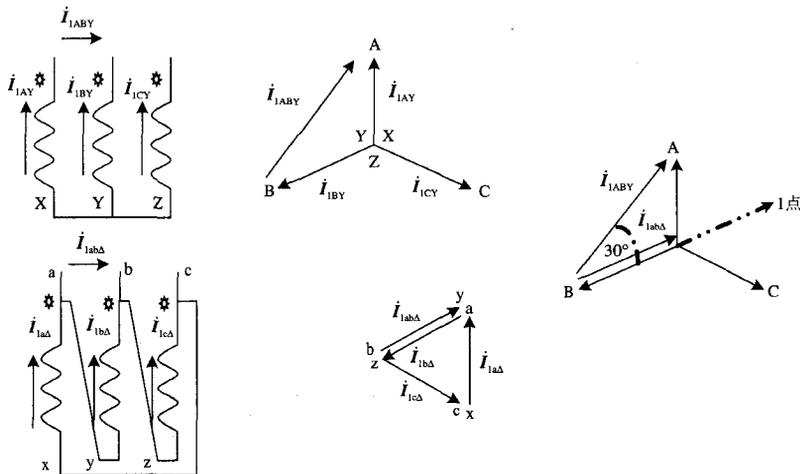


图 2 系统电源负相序时 Y/Δ-11 接线组别变压器的向量图

Fig.2 The vector diagram of system power source for Y/Δ-11 wiring group transformer in negative phase sequence

从图 2 向量图分析得出: 对 Y/Δ-11 接线的变压器, 系统电源负相序时, 其高压侧和低压侧电(压)流向量相差 30° (沿顺时针方向), 即以高压侧电(压)流向量方向指向作为长针, 指向 12 点, 则低压侧电(压)流向量方向指向 1 点。如图所示  $i_{IABY}$  和  $i_{Iab\Delta}$  相差 30° (沿顺时针方向)。

线组别有影响。即变压器真实接线组别受系统相序影响。由此得出以下结论:

(1) 系统电源正相序时, 变压器接线组别不变, 是 11 点, 即其高压侧和低压侧电(压)流向量相差 330° (沿顺时针方向);

从图 1、2 两个向量图对比分析说明, 对 Y/Δ-11 接线的变压器, 电源正、负相序, 对变压器接

(2) 系统电源负相序时, 变压器接线组别发生变化, 接线组别从 11 点变化为 1 点, 高压侧和低压侧电(压)流向量相差 30° (沿顺时针方向)。

### 3 系统电源正相序对差动保护影响分析

我们知道,为减少三次谐波的影响,变压器接线组别多采用 Y/Δ-11 接线,如此即形成变压器两侧电流之间有 30° 的相位差,使得在正常情况下,两侧相角差产生的不平衡电流流入差动继电器。

(1)常规继电器差动保护对相位差引起不平衡电流的校正

常规继电器差动保护为了消除角差产生的不平衡电流影响,可将变压器两侧的电流互感器二次绕组按一定方式接线,用来校正这种相位差。即变压器 Y 侧的电流互感器二次绕组按 Δ 形接线,而变压器 Δ 侧的电流互感器二次绕组按 Y 形接线,适当考虑连接方式后,即可把二次电流的相位校正过来。当系统为正相序时,对 Y/Δ-11 接线变压器可用向量图 3 分析说明:

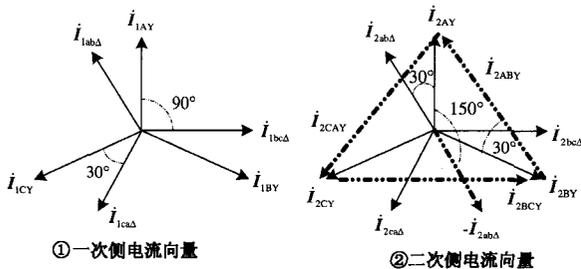


图 3 系统电源正相序时常规差动保护角差校正向量图  
Fig.3 The vector diagram of system power source for regular differential protection angular error adjustment in positive phase sequence

图 3 中:

$\dot{I}_{1AY}$ 、 $\dot{I}_{1BY}$ 、 $\dot{I}_{1CY}$  为变压器 Y 侧一次电流;  $\dot{I}_{1ab\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1bc\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1ca\Delta}$  为变压器 Δ 侧一次电流;  $\dot{I}_{2AY}$ 、 $\dot{I}_{2BY}$ 、 $\dot{I}_{2CY}$  为变压器 Y 侧二次电流;  $\dot{I}_{2ab\Delta}$ 、 $\dot{I}_{2bc\Delta}$ 、 $\dot{I}_{2ca\Delta}$  为变压器 Δ 侧二次电流;  $\dot{I}_{2ABY}$ 、 $\dot{I}_{2ab\Delta}$  为变压器 Y、Δ 侧 AB 相二次电流;  $-\dot{I}_{2ab\Delta}$  为相量表测量的 Δ 侧二次电流 (考虑 CT 极性后变压器 Δ 侧二次电流)

由于变压器两侧各相为同心绕组,两侧相电流  $\dot{I}_{1AY}$ 、 $\dot{I}_{1BY}$ 、 $\dot{I}_{1CY}$  与  $\dot{I}_{1a\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1b\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1c\Delta}$  同相位,而 Δ 侧的相电流分别为  $\dot{I}_{1ab\Delta} = \dot{I}_{1a\Delta} - \dot{I}_{1b\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1bc\Delta} = \dot{I}_{1b\Delta} - \dot{I}_{1c\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1ca\Delta} = \dot{I}_{1c\Delta} - \dot{I}_{1a\Delta}$ , 如向量图 3①所示,则 Δ 侧电流  $\dot{I}_{1ab\Delta}$  ( $\dot{I}_{1bc\Delta}$ 、 $\dot{I}_{1ca\Delta}$ ) 超前 Y 侧电流  $\dot{I}_{1AY}$  ( $\dot{I}_{1BY}$ 、 $\dot{I}_{1CY}$ ) 30°。当变压器 Y 侧的电流互感器二次绕组按 Δ 形接线,如向量图 3②所示,其二次电流  $\dot{I}_{2ABY}$  超前一次电流  $\dot{I}_{2AY}$  30°。而变压器 Δ 侧的电流互感器二次绕组按 Y 形接线,其二次电流  $\dot{I}_{2ab\Delta}$  与一次电流  $\dot{I}_{1ab\Delta}$  同相位。经过这样转换,

Y 和 Δ 两侧二次电流同相位,如向量图 3②所示,  $\dot{I}_{2ab\Delta}$  与  $\dot{I}_{2ABY}$  同相位,消除了由于相位差引起的不平衡电流。以上分析没有考虑 CT 的极性问题,假定 CT 极性点在母线侧,我们通过相位测到地角度实际是  $\dot{I}_{2AY}$  和  $-\dot{I}_{2ab\Delta}$  两个向量之间的角度,如向量图 3②所示是  $\dot{I}_{2AY}$  超前  $-\dot{I}_{2ab\Delta}$  150°。

(2)微机变压器差动保护对相位差引起不平衡电流的校正

微机变压器差动保护对相位差引起不平衡电流的校正,可以通过软件进行修正。变压器各侧电流互感器二次绕组均按 Y 形方式接线,然后将各侧电流互感器二次电流引入保护,其角差和比差引起的不平衡电流则在保护内部通过软件进行补偿。其中相位补偿,采用的是根据变压器的接线组别进行相应的角度转换;而幅值补偿,采用的是将 Δ 侧电流归算到 Y 侧的方法。通过上述措施,保证变压器差动保护正常运行时无差流。

CSC326FA 主后一体化微机变压器保护根据变压器绕组及 CT 接线方式自动补偿,采用在 Y 侧校正相位。例如对于 Y/Δ-11 接线变压器,当系统电源为正相序时,以 A 相为例校正方法如图 4 所示。

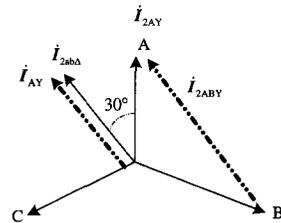


图 4 系统电源正相序时微机变压器差动保护角差校正向量图

Fig.4 The vector diagram of system power source for microprocessor differential protection angular error adjustment in positive phase sequence

图 4 中:

$\dot{I}_{2AY}$  为变压器 Y 侧 A 相二次电流;  $\dot{I}'_{AY}$  为经微机保护软件修正后变压器 Y 侧 A 相电流;  $\dot{I}_{2ab\Delta}$  为变压器 Δ 侧 AB 相二次电流;  $\dot{I}_{2ABY}$  为变压器 Y 侧 AB 相二次电流。

对于 Y/Δ-11,微机保护 A 相软件校正算法是:

$$\dot{I}'_{AY} = (\dot{I}_{2AY} - \dot{I}_{2BY}) / \sqrt{3} = \dot{I}_{2ABY} / \sqrt{3} = \dot{I}_{2ab\Delta}$$

类推 B、C 相软件校正算法:  $\dot{I}'_{BY} = (\dot{I}_{2BY} - \dot{I}_{2CY}) / \sqrt{3} = \dot{I}_{2BCY} / \sqrt{3} = \dot{I}_{2bc\Delta}$ ;  $\dot{I}'_{CY} = (\dot{I}_{2CY} - \dot{I}_{2AY}) / \sqrt{3} = \dot{I}_{2CA Y} / \sqrt{3} = \dot{I}_{2ca\Delta}$ ;

从图 4 看出, 经过微机保护软件校正后, 校正后的 Y (高压) 侧电流  $\dot{i}'_{AY}$  与  $\Delta$  (高压) 侧电流  $\dot{i}_{2ab\Delta}$  同相位。装置中可以通过“变压器接线方式”控制字以及“接线方式钟点数”定值来选择接线方式。其中“变压器接线方式”控制字确定变压器绕组的接线形式是 Y 还是  $\Delta$ 。“接线方式钟点数”定值确定变压器的接线组别。在本例中, 对于 Y/ $\Delta$ -11 接线变压器, 其“变压器接线方式”控制字是 Y/ $\Delta$ 。“接线方式钟点数”定值是 11 点。差动电流和制动电流的相关计算, 都是在电流相位校正和平衡补偿后的基础上进行。通过以上软件自动计算和定值整定, 就消除了相位差引起不平衡电流。

#### 4 系统电源负相序对差动保护影响分析

(1) 常规继电器差动保护对相位差引起不平衡电流的校正

对于常规继电器差动保护, 当系统电源负相序时, Y/ $\Delta$ -11 接线变压器感受的接线组别为 1 点, 从图 5 向量所示高压 Y 侧电流  $\dot{i}_{2AY}$  超前低压  $\Delta$  侧电流  $\dot{i}_{2ab\Delta}30^\circ$  (沿顺时针方向)。但是由于变压器 Y 侧的电流互感器二次绕组按  $\Delta$  形接线, 其二次电流  $\dot{i}_{2ABY}$  就滞后一次电流  $\dot{i}_{2AY}30^\circ$ 。经过转换, Y 和  $\Delta$  两侧二次电流同相位, 如向量图 5 所示,  $\dot{i}_{2ab\Delta}$  与  $\dot{i}_{2ABY}$  同相位, 消除了由于相位差引起的不平衡电流。同样假定 CT 极性点在母线侧, 通过相位测到地角度实际是  $\dot{i}_{2AY}$  和  $-\dot{i}_{2ab\Delta}$  两个向量之间的角度, 如向量图 5②所示  $\dot{i}_{2AY}$  超前  $-\dot{i}_{2ab\Delta}210^\circ$ 。这也就是本文前面提到的主变 110 kV 侧电流向量超前 35 kV 侧电流向量  $210^\circ$  (沿顺时针方向) 的原因。

即对于常规继电器差动保护, 系统电源负相序并不影响 Y/ $\Delta$ -11 接线变压器差动保护的相位修正。

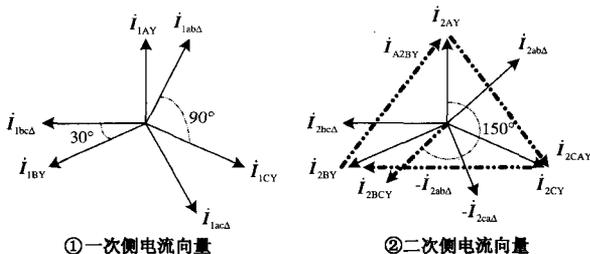


图 5 系统电源负相序时常规差动保护角差校正向量图  
Fig.5 The vector diagram of system power source for regular differential protection angular error adjustment in negative phase sequence

(2) 微机变压器差动保护对相位差引起不平衡电流的校正

同理, 对于 CSC326FA 主后一体化微机变压器保护, 当系统电源负相序时, Y/ $\Delta$ -11 接线变压器感受的接线组别变为 1 点。即如图 6 所示高压 Y 侧电流  $\dot{i}_{2AY}$  超前低压  $\Delta$  侧电流  $\dot{i}_{2ab\Delta}30^\circ$ 。微机变压器保护根据变压器绕组及 TA 接线方式自动补偿, 采用在 Y 侧校正相位。

对于 Y/ $\Delta$ -11 接线, 微机保护软件 A 相校正算法是:  $\dot{i}'_{AY} = (\dot{i}_{2AY} - \dot{i}_{2BY})/\sqrt{3} = \dot{i}_{2ABY}/\sqrt{3} = \dot{i}_{2ab\Delta}$ ;

$$\begin{aligned} \text{类推 B、C 相软件校正算法: } \dot{i}'_{BY} &= (\dot{i}_{2BY} - \dot{i}_{2CY})/\sqrt{3} \\ &= \dot{i}_{2BCY}/\sqrt{3} = \dot{i}_{2bc\Delta}; \quad \dot{i}'_{CY} = (\dot{i}_{2CY} - \dot{i}_{2AY})/\sqrt{3} \\ &= \dot{i}_{2CAY}/\sqrt{3} = \dot{i}_{2ca\Delta}; \end{aligned}$$

从图 6 看出, 经过软件校正后, 校正后的 Y (高压) 侧电流  $\dot{i}'_{AY}$  与  $\Delta$  (高压) 侧电流  $\dot{i}_{2ab\Delta}$  同相位。

故系统电源负相序并不影响 Y/ $\Delta$ -11 接线变压器差动保护的相位修正。其“变压器接线方式”控制字和“接线方式钟点数”定值不变, 与系统电源正相序时相同, 还是 Y/ $\Delta$  和 11 点。

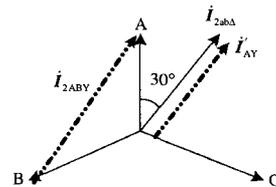


图 6 电源负序时微机保护角差校正向量图

Fig.6 The vector diagram of system power source for regular differential protection angular error adjustment in negative phase sequence

(3) 一次相序与二次相序不一致时, 微机变压器差动保护对相位差引起不平衡电流的校正

对 Y/ $\Delta$ -11 接线的变压器, 电源负相序时, 如果在二次施工时, 施工人员在变压器保护屏端子处将进入保护装置的二次电流 (压) 的 B、C 相对调, 在图 7 中 B 变为括号内 C', C 变为括号内 B', 即人为把进入保护装置的二次电流 (压) 相序改为正相序。但是“接线方式钟点数”定值不变, 与系统电源正相序时相同, 还是 11 点。就会出现例似魏庄变的情况, 微机变压器保护就会出现差流, 相位差引起的不平衡电流不会消除。分析如下:

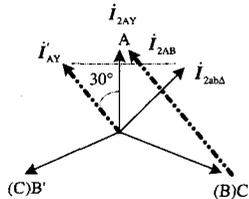


图7 二次电流相序与系统一次相序相反时微机保护角差校正向量图

Fig.7 The vector diagram of system power source for microprocessor differential protection angular error adjustment as the phase sequence of secondary side current is opposite to that of primary side current

当将进入保护装置的二次电流（压）的 B、C 相对调，人为把进入保护装置的二次电流（压）相序改为正相序时。因为一次电流相序还是负相序，通过前面分析知道，Y/Δ-11 接线变压器感受的接线组别仍然是 1 点接线。即如图 7 所示高压 Y 侧电流  $i_{2AY}$  超前低压 Δ 侧电流  $i_{2ab\Delta} 30^\circ$ 。但是微机保护仍然按照进入装置地二次正相序进行相位校正。对于 Y/Δ-11 接线，微机保护软件 A 相校正算法是：

$$i'_{AY} = (i_{2AY} - i_{2BY}) / \sqrt{3} = i_{2ABY} / \sqrt{3} \neq i_{2ab\Delta}$$

从图 7 可以看出，Y 侧经过微机保护软件校正后的电流  $i'_{AY}$  与 Δ 侧电流  $i_{2ab\Delta}$  不同相，两个向量相差  $i_{2AY}$ ，即模值正好等于高压侧的电流。出现这种情况的根本原因是：一次、二次电流相序不一致，在定值整定时应考虑到一次、二次电流相序的变化对微机保护的影响。对于 CSC326FA 主后一体化微机变压器保护其“接线方式钟点数”定值应该整定为 1 点而不是 11 点，按照 Y/Δ-1 接线进行修正，

微机保护软件 A 相校正算法是： $i'_{AY} = (i_{2AY} - i_{2CY}) / \sqrt{3} = i_{2ACY} / \sqrt{3} = i_{2ab\Delta}$ ；则修正后电流  $i'_{AY}$  与 Δ 侧电流  $i_{2ab\Delta}$  同相，消除了相位差引起的不平衡电流。

## 5 结束语

通过以上分析，我们深刻地认识到系统电源相序变化对主变保护的影响。引申来看，虽然主变微机差动主保护并不受电源相序影响，但如果主变微机保护采取主后一体化时，因为主变微机后备保护受电源相序影响，所以，主变微机保护在定值整定中必须注意系统电源负相序对其影响，避免发生保护误动。如果主变微机保护不采取主后一体化，主、后保护分离时。系统电源负相序对主变微机差动主保护没有影响，定值整定与电源正相序相同。但是对于主变微机后备保护，在系统电源负相序时，必须注意到其影响，在外部接线上考虑，才能保证保护的准确性。

## 参考文献

- [1] 杨传箭. 电气运行工人技术问答——变压器[M]. 水利电力出版社, 1985.
- [2] 曾田. 电力变压器保护[M]. 水利电力出版社.
- [3] CSC326FA 数字式变压器保护技术说明书[Z]. 北京四方继保自动化股份有限公司.

收稿日期：2008-02-13； 修回日期：2008-05-04

作者简介：

郭润生（1969-），男，高级工程师，高级技师，长期从事继电保护运行管理工作；E-mail:grs2283@sina.com

何彩虹（1970-），女，高级工程师，从事电力系统调度管理。

## 许继集团创出 6 个“世界第一”

11 月 8 日上午，受国家发展和改革委员会委托，中国机械工业联合会在许昌举行许继集团特高压交直流输电设备国产化项目中期汇报会。许继集团总裁李富生在会上自豪地宣布：6 项特高压直流输电领域的“世界第一”在许继诞生了。

这 6 个“世界第一”分别是：世界上第一套 ±800 kV、500 万 kW 特高压直流输电控制保护系统；世界上第一套 ±800 kV、640 万 kW，创输送容量最大、输送距离最长等十八项世界纪录的直流输电控制保护系统；世界上第一个 ±800 kV、3 125 A 光控换流阀组件；世界上第一个 ±800 kV、4 000 A 电控换流阀组件；世界上第一个输送容量最大、电压等级最高的背靠背直流工程的控制保护和换流阀系统；世界上规模最大、技术最先进、数模一体化，建筑面积近 5000 平方米、投资近两亿元的特高压专业化试验研究中心。

当天的汇报会上，中国工程院院士、直流专家李立渥表示，我国输电的主网架结构正在实现从超高压 500 kV 交直流向特高压 ±800 kV 直流和 1 000 kV 交流的跨越。特别是 ±800 kV 直流输电，在世界上没有先例。因此，许继取得的成果令人振奋，将有力地为我国“云广”和“向上”两个 ±800 kV 特高压直流输电示范工程控制保护设备的研制和试验提供技术保障。