

[开关设备]

风电场35 kV手车式开关柜 典型防误操作闭锁逻辑探讨

文/上海勘测设计研究院有限公司 李润源

结合风电场升压站现场操作步骤和检修的安全要求, 阐述了风机进线开关柜、接地变压器/站用变压器/SVG/FC回路开关柜、分段开关柜与分段隔离柜、主变压器低压侧开关柜和母线PT柜车的典型操作闭锁逻辑。

2014年,全国风电产业继续保持强劲增长势头,全年风电新增装机容量1 981万kW,新增装机容量创历史新高,累计并网装机容量达到9 637万kW,占全部发电装机容量的7%,占全球风电装机的27%。2014年风电上网电量1 534亿kW·h,占全部发电量的2.78%。大多数风场每台风机配套选用一台箱式变电

站（简称箱式变）进行升压至35 kV，并经集电线路汇集后接入升压站35 kV开关柜。目前风电场升压站35 kV开关柜基本上采用手车式开关柜，图1为典型风电场升压站35 kV母线接线图。建立一套合理可靠的开关柜防误操作闭锁逻辑，对于风电场的安全稳定运行具有极大的作用。

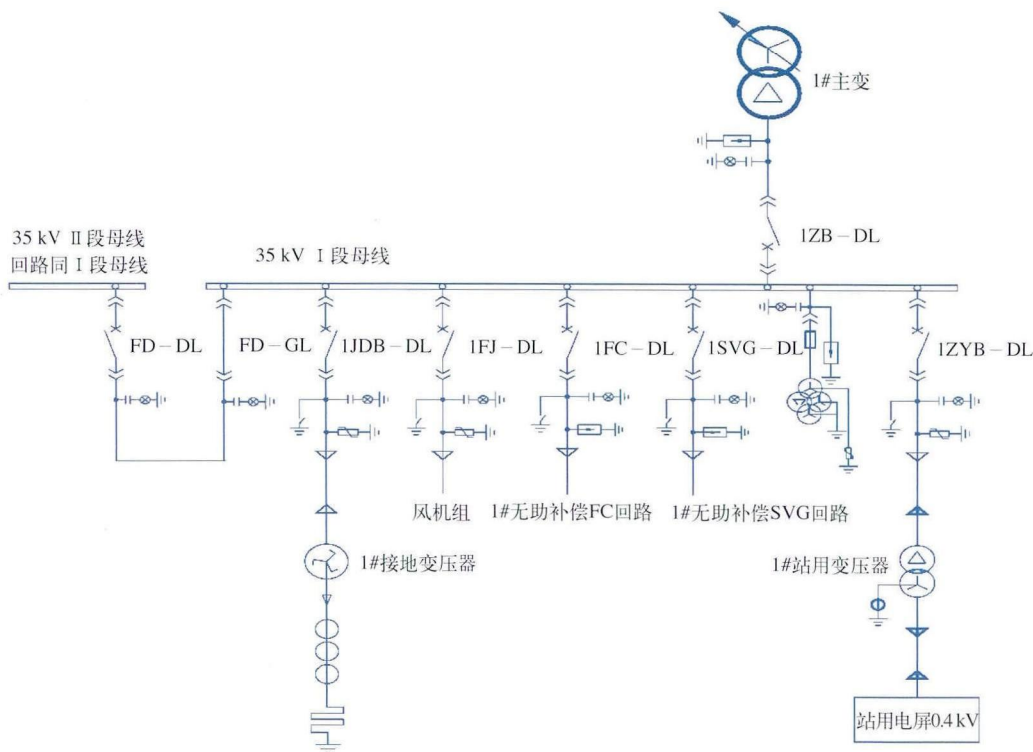


图1 典型风电场升压站35 kV母线接线图

风机进线开关柜操作闭锁逻辑

断路器的操作闭锁逻辑流程通常为无条件分闸。当断路器手车未到工作位置或试验位置时，断路器无法进行合闸操作。

断路器手车的操作闭锁逻辑为推、拉断路器手车前，断路器都必须要在分位，同时如果在断路器手车推入工作位置前，开关柜里接地开关及接地线（如有）必须在分位，开关柜后门必须关闭，35 kV母线PT柜接地手车必须处于非工作位置。这是开关柜手车最基本的操作原则，推入断路器手车至工作位置，相当于合上传统固定式开关柜的隔离开关；拉出断路器手车至试验位置，相当于断开传统固定式开关柜的隔离开关。因此，推、拉手车开关，也相当于固定式开关的合、分隔离开关，断路器必须预先要在分位，否则将会造成带负荷合、分刀闸的恶性误操作事故。开关柜里的接地开关和母线PT柜接地手车也必须预先要在分位和非工作位置，推入断路器手车前先断开接地开关并将接地手车拉至非工作位置，可避免推入断路器手车后合上断路器造成带地刀合断路器。手车与柜内断路器、接地开关和后门之间的操作闭锁均可通过柜内机械联锁实现。但是母线接地手车位置需经人工确认，可在断路器合闸闭锁回路中串入母线PT柜接地手车非工作位置或者采集母线接地手车非工作位置入升压站计算机监控系统中，然后通过一次设备防误操作中的电磁五防锁、微机五防功能进行合闸闭锁来使断路器保持在分位来实现母线接地手车对断路器手车的闭锁。

线路接地开关与开关柜后门的操作闭锁逻辑流程相同，接地开关与后门之间设机械联锁。在操作线路接地开关与开关柜后门前，断路器必须处于分位，断路器手车必须处于非工作位置，同时确认开关柜无电。这样可以防止带电分、合接地开关，防止误入带电间隔。

接地变压器/站用变压器/SVG/FC回路开关柜操作闭锁逻辑

接地变压器/站用变压器/SVG/FC回路开关柜与风机进线开关柜类似。

接地变压器/站用变压器回路开关柜与风机进线开关柜的操作闭锁逻辑区别在接地变压器/站用变压器回路断路器手车推入工作位置前，变压器柜门或者网门也必须闭合。这样能够避免升压站运行检修人员误接触带电变压器。通常做法可将

柜门或网门信号串入断路器合闸闭锁回路，也可将柜门或网门信号接入升压站计算机监控系统或者利用柜门和网门上挂的五防机械编码锁判断门位置信号，然后通过一次设备防误操作中的电磁五防锁、微机五防功能来使断路器保持在分位来实现其对断路器手车的闭锁。

SVG/FC回路开关柜与风机进线开关柜的操作闭锁逻辑区别在SVG/FC回路断路器手车推入工作位置前，户外设备网门也必须闭合、地刀也必须处于分位。要求网门在合位，能避免工作人员误入带电间隔、也能避免SVG和FC的检修工作还没有结束时误操作断路器；要求地刀处于分位，可避免推入断路器手车后合上断路器造成带地刀合断路器通常做法与接地变/站用变回路柜门或网门闭锁逻辑一致。特别地，对于SVG回路开关柜，SVG控制器允许断路器合闸信号必须串入断路器合闸闭锁回路以保证SVG装置的正常运行。

分段开关柜与分段隔离柜操作闭锁逻辑

断路器的操作闭锁逻辑流程通常为无条件分闸。当断路器手车未到工作或试验位置时，断路器无法进行合闸操作。为避免两台主变压器并列运行，两台主变压器35 kV断路器与分段断路器之间需设置“三投二”电气联锁，即在同一时刻，仅允许其中两台断路器处于合位。

断路器手车的操作闭锁逻辑为推、拉断路器手车之前，断路器都必须要在分位，同时如果在断路器手车推入工作位置前，接地线（如有）必须在分位，开关柜后门必须关闭，35 kV母线接地手车必须处于非工作位置，分段隔离柜隔离手车处于工作位置。原理基本与风机进线开关柜类似，分段间隔所连两侧的母线接地手车被拉出至非工作位置，形成明显断开点，也符合防止分段合闸造成带电母线送电至检修母线的防误操作原则。

分段隔离柜隔离手车的操作闭锁逻辑为推、拉隔离手车之前，分段断路器都必须要在分位，同时35 kV母线接地手车必须处于非工作位置。跟分段开关柜的断路器手车的操作闭锁逻辑相结合，可以避免造成分段隔离柜带负荷合、分开关的恶性误操作事故。

开关柜后门的操作闭锁逻辑为在操作开关柜后门前，断路器必须处于分位，断路器手车必须处于非工作位置，同时确认开关柜无电。这样可以防止

（下转第76页）

$$\begin{cases} I_{CA} = j\omega cLU_A \\ I_{CB} = j\omega cLU_B \\ I_{CC} = j\omega cLU_C \end{cases} \quad (7)$$

式中, I_{SA} 、 I_{SB} 、 I_{SC} 为A、B、C三相的电容电流;
 U_A 、 U_B 、 U_C 为A、B、C三相护套上的电缆电压;
 ω 为角频率; C 为单位长度电容。

现场数据测量与分析

台州供电公司恒芒1 673线为电缆线路,线路全长0.95 km,其中电缆分两段,一段0.41 km,二段0.54 km,电缆峰值负载电流为120 A左右,低谷时负载电流大约为50 A左右,电缆自2011年投运以来实测得到的电缆护层电流数据比较大,大约为电缆传输电流的80%,并且随着电缆输出电流的变化而变化,如图5所示。

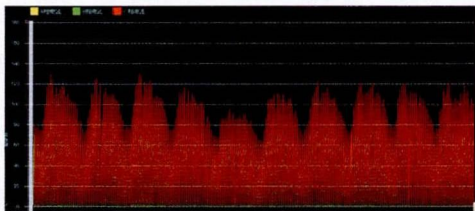


图5 实测护层电流变化曲线

经工作人员对电缆绝缘、护层间的接线进行检查,发现电缆护层接地方式为直接接地—经保护器

(上接第73页)

带电分、合接地开关,防止误入带电间隔。

主变压器低压侧开关柜操作闭锁逻辑

主变压器低压侧开关柜与分段开关柜类似。

主变压器低压侧开关柜与分段开关柜的操作闭锁逻辑区别在主变低压侧断路器手车推入工作位置前,主变压器高压侧接地开关也必须处于分位。主变压器高压侧地刀的分位闭锁低压侧开关、隔离手车的操作,能防止当低压侧母线由邻侧主变压器并列送电时,推入主变压器低压侧断路器手车造成母线被主变压器高压接地开关接地。通常做法可将主变压器高压侧接地开关的分位串入断路器合闸闭锁回路,也可将该信号接入升压站计算机监控系统然后通过一次设备防误操作中的电磁五防锁、微机五防功能来使断路器保持在分位来实现其对断路器手车的闭锁。

母线PT柜操作闭锁逻辑

与常规电网变电站不同,风电场升压站主变

接地—直接接地,但该电缆中间接头只采用一组保护接地,即电缆护层中间直接连接在一起。现在的连接方式相当于电缆两端直接接地。经工作人员讨论分析,将中间接头的一组保护接地变为两组直接保护接地,即两段电缆分别为一端直接接地,另一端经保护接地。护层电流变化情况如图6所示。

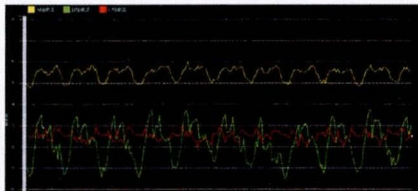


图6 电缆护层电流变化情况

结束语

对于在1 km内单芯电缆护层的连接方式进行探讨,当电缆护层两端直接接地时,护层电流值达到电缆输出电流的50%~95%,提高了电缆的运行温度,影响电缆输送容量和电缆的老化程度。当电缆两端直接接地,中间经保护接地不会产生环流,只有泄漏电流。因此对于在1 km范围内的大负荷单芯电缆,不能采用两端直接接地的方式。而采用护层中间直接接地两端经保护接地或护层两端直接接地中间经保护接地的方式。EA

(收稿日期: 2015.06.19)

(编辑: 刘群点)

压器高压侧和风机侧均为电源端。要操作PT柜接地手车,PT所在母线必须与电源隔离,包括将母线所连的所有开关柜断路器分位,拉出断路器手车、隔离手车等隔离方式,符合防止接地车造成母线接地原则。通常做法可将各开关柜断路器手车、隔离手车的试验位置串入PT柜合闸闭锁回路,同时将母线接地手车非工作位置用来闭锁断路器手车或隔离手车。

结束语

风电场开关柜应具有可靠的“五防”功能:防止误分、误合断路器;防止带负荷分、合隔离开关(插头);防止带电分、合接地开关;防止带接地刀闸送电;防止误入带电间隔。

一套合理的开关柜操作闭锁逻辑,应既能实现五防功能,又能方便现场值班人员运行、提高停送电效率。EA

(收稿日期: 2015.06.19)

(编辑: 刘群点)