

风电场箱式变电站高压侧组合电器保护方式的探讨

针对目前风电场所采用的各种不同容量和不同类型的箱式变电站,讨论保护装置采用负荷开关—熔断器组合电器时额定电流、转移电流的计算和可靠性的分析,并列各种不同容量的箱式变电站所对应的组合电器参数。

石 巍 胡凌波 张彦昌/中南电力设计院



石 巍/高级工程师

目前,陆地风电场所采用的风力发电机组的出口电压一般为690 V,风电机组所发电能需要在就地升压后再通过集电线路输送到升压站接入电网。风电机组的就地升压装置采用箱式变电站或台变,通常按照“一机一变”的设计原则进行布置。考虑到大部分风电场所在地区周围环境条件较恶劣,故推荐采用箱式变电站。

箱式变电站一般在变压器的高压侧设置断路器或负荷开关—熔断器组合电器作为操作和保护装置。采用断路器不仅要考虑断路器操作电源的可靠性,还要考虑温度、湿度等因素对断路器控制保护单元的影响,因此目前大部分风电场的箱式变电站保护装置还是采用负荷开关—熔断器组合电器。

当采用负荷开关—熔断器组合电器时,不仅要满足开断最大预期故障电流的要求,而且要满足负荷开关和熔断器相互配合的要求。本文主要根据风电场箱式变电站采用负荷开关—熔断器组合电器作为保护装置,对所保护的箱式变电站按照不同容量和不同类型分别进行讨论。

负荷开关—熔断器组合电器保护方式

负荷开关—熔断器组合电器保护装

置首先要确定额定短路开断电流,组合电器的额定短路开断电流在很大程度上取决于所用的熔断器,而且应大于或等于系统中组合电器安装地点的最大预期故障电流水平的有效值。

熔断器熔体的额定电流为

$$I_{rr} = KI_g \quad (1)$$

式中, I_{rr} 为熔体的额定电流, A; K 为系数,风电机组采用永磁直驱同步发电机, K 可取1.1~1.3,风电机组采用双馈异步发电机, K 可取1.5~2.0; I_g 为箱式变电站回路最大工作电流, A。

还需要防止变压器突然投入时产生的励磁涌流损伤熔断器,变压器的励磁涌流通过熔断器产生的热效应可按10~20倍的变压器满载电流持续0.1 s进行计算。熔断器熔体一般按通过变压器励磁涌流时的熔断时间不小于0.5 s校验。

负荷开关—熔断器组合电器保护装置要确定额定转移电流。组合电器的额定转移电流是指当采用撞击器操作负荷开关分闸时,在熔断器和负荷开关转换开断职能时的三相对称电流值。确定额定转移电流实际上就是明确熔断器和负荷开关各自的职能。当预期短路电流低于额定转移电流时,首开相电流由熔断器开断,而后两相电流由负荷开关开断;当预期短路电流大于额定转移电流时,三相电流仅由熔断器开断。组合电器的额定转移电流是组合电器中的负荷开关能够开断的转移电流的最大有效值。

负荷开关—熔断器组合电器的实际转移电流取决于两个因素,即熔断器触

关键词/Keywords

组合电器 ·
箱式变电站 ·
转移电流 ·

发的负荷开关分闸时间和熔断器的时间—电流特性。由于制造上存在的偏差，熔断器的时间—电流特性曲线也存在着误差，当三相故障电流通过熔断器时，三相熔断器不可能同时分断电路，如果首开相与剩余两相弧前时间差大于由熔断器触发的负荷开关分闸时间，就会出现负荷开关开断转移电流的情况。图1为在转移电流范围内可能出现的最大和最小熔断器时间—电流特性曲线，为了便于分析，近似认为在转移电流的小区域内的特性曲线为直线。最小时间—电流曲线上的 T_{m1} 是在三相故障电流 I_1 下首先动作的熔断器熔化时间； T_{m2} 是第二相熔断器动作时的熔化时间，由于第二相熔断器已经承受了三相故障电流 I_1 的时间 T_{m1} ，所以 T_{m2} 小于最大时间—电流曲线上的两相电流（ $0.87I_1$ ）所对应的时间。根据GB—16926标准，三相熔断器的首开相和第二相弧前时间差 ΔT 与 T_{m1} 的关系为

$$\Delta T = 1.1T_{m1} \quad (2)$$

在转移点处， ΔT 应与熔断器触发的负荷开关分闸时间 T_0 相等，即

$$T_0 = \Delta T = 1.1T_{m1} \text{ 或 } T_{m1} = 0.9T_0 \quad (3)$$

式中， I_1 为三相故障电流，A； T_0 为熔断器触发的负荷开关分闸时间，s； T_{m1} 为三相故障电流下首先动作的熔断器在最小时间—电流特性曲线上的熔断时间，s； T_{m2} 为三相故障电流下第二相熔断器动作时的熔化时间，s； ΔT 为三相熔断器的首开相和第二相弧前时间差，s。

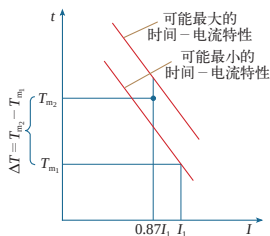


图1 弧前时间差的确定

对于给定用途的负荷开关—熔断器组合电器，其实际转移电流可由制造厂家提供，厂家不能提供时可按下面的方法确定。

在熔断器的最小弧前时间—电流特性曲线上， $T_{m1} = 0.9T_0$ 所对应的电流值就是确定的实际转

移电流值，如图2所示。

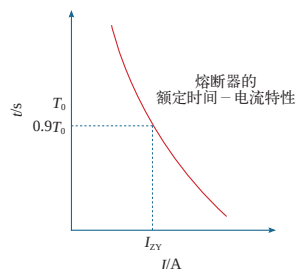


图2 实际转移电流的确定

组合电器的实际转移电流必须小于变压器二次端子直接短路时的一次侧电流，因为变压器二次端子直接短路使得一次侧的故障条件具有较高的TRV（暂态恢复电压）值，组合电器中的负荷开关不能开断这种故障。因此，应选择合适的熔断器使其单独将此故障消除，而不把任何开断职能转移给负荷开关。实际上，这就要求确保组合电器的实际转移电流小于变压器的一次故障电流，如图3所示。

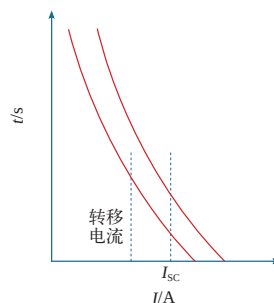


图3 转移电流与因变压器二次端子短路引起的一次侧故障电流 I_{SC} 的关系

$$I_{SC} = 100I_1 / Z \quad (4)$$

式中， I_{SC} 为变压器二次端子直接短路时的一次侧电流，A； I_1 为变压器的一次侧额定电流，A； Z 为变压器的短路阻抗百分比，%。

不同容量的箱式变电站采用的负荷开关—熔断器组合电器保护方式的参数

综上所述，可以得到如下结论。

1) 负荷开关—熔断器组合电器的实际转移电流应小于其额定转移电流。

2) 负荷开关—熔断器组合电器的实际转移电流应小于因变压器二次端子短路引起的一次侧短路电流。

3) 负荷开关-熔断器组合电器的实际转移电流应大于变压器的励磁涌流的最大值。

4) 负荷开关-熔断器组合电器的实际转移电流应大于变压器的满负载电流和变压器允许的过载电流。

根据以上结论,可以得到负荷开关-熔断器组合电器与变压器配合的特性曲线,如图4所示。

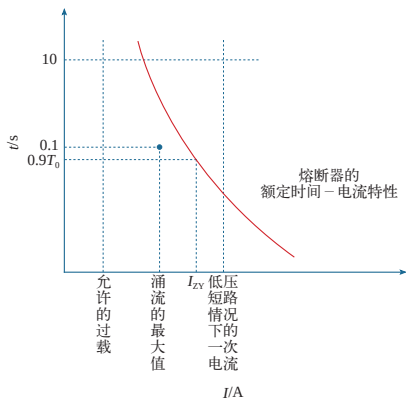


图4 负荷开关-熔断器组合电器与变压器配合的特性曲线

考虑到目前风电场投资和运行的经济性,集电线路的电压等级一般采用35 kV,针对风电场所采用的各种不同容量的箱式变电站,根据熔断器弧前时间-电流特性曲线,如图5所示,列出其所对应的负荷开关-熔断器组合电器的参数,如下表所示。

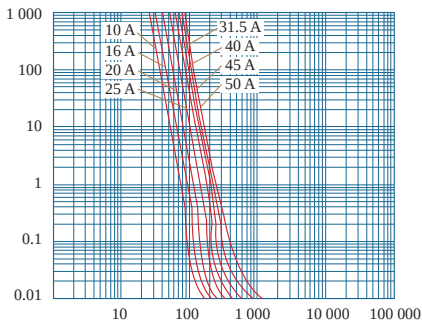


表 风电场35 kV箱式变电站组合电器参数选择表

编号	风机	箱式	负荷开关-熔断器组合电器参数			
	容量/kW	变电站容量/kV·A	额定电流/A	额定开断电流/kA	额定转移电流/A	计算转移电流/A
1	750	800	25	31.5	1 700	280
2	850	900	31.5	31.5	1 700	370
3	1 000	1 100	40	31.5	1 700	570
4	1 250	1 350	40	31.5	1 700	570

(续)

编号	风机	箱式	负荷开关-熔断器组合电器参数			
	容量/kW	变电站容量/kV·A	额定电流/A	额定开断电流/kA	额定转移电流/A	计算转移电流/A
6	1 800	2 000	63	31.5	1 700	1 300
7	2 000	2 200	63	31.5	1 700	1 300
8	2 100	2 300	80	31.5	1 700	1 600
9	2 300	2 500	80	31.5	1 700	1 600
10	2 500	2 750	80	31.5	1 700	1 600

不同类型箱式变电站采用的保护方式

风电场的箱式变电站可以采用美式箱式变电站、欧式箱式变电站和华式箱式变电站。华式箱式变电站实际上就是将欧式箱式变电站的内置变压器外置,采用散热片散热,取消欧式箱式变电站的散热风扇和外壳,融合了美式箱式变电站和欧式箱式变电站的优点,结构紧凑,保护功能完善。欧式箱式变电站和华式箱式变电站可以安装带撞击器或过电流脱扣器的负荷开关-熔断器组合电器,满足箱式变电站的保护要求。而美式箱式变电站采用油浸式负荷开关和油浸插入式全范围熔断器,这种箱式变电站的负荷开关和熔断器采用油浸式独立安装,因油箱内空间紧凑无法再安装撞击器联动机构或过电流脱扣器,当熔断器单相熔断时不能联动断开三相负荷开关。原因是美式箱式变电站设计时其高压侧(美国为15 kV)的配电系统为中性点接地系统(大电流接地系统),而国内的10~35 kV配电系统为中性点不接地系统(小电流接地系统)。

风电场采用美式箱式变电站时,箱式变电站一般为△/Y接线方式,当高压侧出现单相断线时,有一相的电压不变,另外两相的电压会减半,导致箱式变电站低压侧电压降低,电流增大。这时需要箱式变电站低压侧断路器或风电机组出口断路器动作断開箱式变电站,通常可以利用低压侧断路器的电子脱扣器通过整定长延时过电流保护动作来分断低压侧断路器实现这一保护功能,但是长延时过电流保护动作时间较长,另外在发电机出力较低时可能存在故障电流达不到整定值而拒动。美式箱式变电站高压侧虽然不能

采用带撞击器的熔断器或采用带过电流脱扣器的负荷开关,但是该油浸式熔断器可以提供熔断器熔断的信号接点,当熔断器单相熔断时,可以利用该信号接点联动分断箱式变压器低压侧断路器,此时,低压侧断路器的电子脱扣器保护功能可以简化或取消,仅增加一个分励脱扣器就可以实现上述保护功能。

结束语

综上所述,风电场箱式变电站高压侧采用负荷开关-熔断器组合电器作为保护装置是可行的。不仅可以满足操作和保护的要求,而且运行简单可靠,节省了投资。但要注意目前市场上35 kV电压等级的熔断器最大额定电流为100 A,容量超

过2.5 MW的风电机组建议还是采用断路器作为高压侧保护装置。

参考文献

- [1] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册 [M]. 3版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] GB 16926—2009 高压交流负荷开关-熔断器组合电器 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [3] GB 3804—2004 3.6~40.5 kV高压交流负荷开关 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [4] 马建芬, 陈才俊. 高压负荷开关-熔断器组合电器的转移电流 [J]. 电气开关, 2009 (5): 8-9.

(收稿日期: 2014-09-09) EA

(上接第121页)

参考文献

- [1] 刘振亚. 特高压电网 [M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
- [2] GB 50545—2010 110~750 kV架空输电线路设计规范 [S]. 北京: 人民出版社, 2010.
- [3] 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册 [M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [4] 李正, 杨靖波, 韩军科, 等. 2008 年输电线路冰灾倒塌原因分析 [J]. 电网技术, 2009, 33 (2): 31-35.
- [5] 杨靖波, 李正, 杨风利, 等. 2008 年电网冰灾覆冰及倒塔特征分析 [J]. 电网与水力发电进展, 2008, 24 (4): 4-8.
- [6] 张文亮, 于永清, 宿志一, 等. 湖南电网2008 年冰雪灾害调研分析 [J]. 电网技术, 2008, 32 (8): 1-5.
- [7] 韩军科, 杨靖波, 杨风利. 500 kV酒杯塔覆冰破坏形态分析 [J]. 电力建设, 2009, 30 (11): 45-50.
- [8] 郭金根, 刘宏滨. 送电线路酒杯型铁塔塔头受力分析 [J]. 广东电力, 2011, 24 (6): 27-30.
- [9] 王磊, 郝淑英, 刘海英, 等. 酒杯塔塔线耦合体系覆冰导线舞动分析 [J]. 武汉大学学报: 工学版, 2014, 47 (3): 394-398.
- [10] 刘春城, 胡晓炜, 乔亮, 等. 覆冰荷载下500 kV输电塔失效模式研究 [J]. 水电能源科学, 2013, 31 (11): 197-200.
- [11] 杨风利, 杨靖波, 张子富. 重覆冰区特高压悬垂型杆塔不平衡张力分析 [J]. 电网技术, 2012, 36 (3): 234-240.
- [12] 李正良, 赵楠, 尤军, 等. 角钢塔K形节点弯矩-转角曲线研究 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2013, 45 (4): 46-54.
- [13] 杨风利, 杨靖波. 重冰区覆冰导线脱冰跳跃荷载分析 [J]. 振动与冲击, 2013, 32 (5): 10-15.
- [14] 姜岚, 周宇欣, 李巧荣, 等. 覆冰条件下酒杯型输电塔动力特性分析 [J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2013, 35 (6): 59-62.
- [15] 张子富, 杨靖波, 杨风利, 等. 重冰区特高压酒杯型钢管塔设计及试验 [J]. 中国电力, 2013, 46 (5): 45-50.
- [16] 郭金根, 刘宏滨. 送电线路酒杯型铁塔塔头受力分析 [J]. 广东电力, 2011, 24 (6): 27-30.

(收稿日期: 2015-03-15) EA