

变电站直流系统断路器及熔断器级差配合研究

由于直流系统中存在不同的保护电器,所以不同保护电器之间就存在相互配合的问题。试验通过对变电站直流系统短路故障的模拟研究直流断路器、熔断器的配合情况。直流系统直流断路器和熔断器级差配合试验对两段式保护断路器、三段式保护断路器、交流断路器以及熔断器的级差配合选择性进行了大量的试验,获得了大量有意义的数据,为今后直流系统断路器、熔断器的设计选型和技术改造提供了依据,同时提出了提高直流系统可靠性的措施。

郝晓光¹ 曹梦¹ 陈荣¹ 刘广振² 吴明雷¹/1.天津市电力公司电力科学研究院 2.天津市电力公司

0 引言

在现代大型电力工程以及现代城网供电系统中,直流系统为继电保护、控制回路、自动装置及事故照明提供电源,保证了继电保护和断路器的正常动作,可以说直流系统是电力设备保护系统的动力之源^[1]。

在直流回路中,熔断器和断路器作为保护设备,起着切断过载和短路故障的作用^[2]。在目前的直流系统接线方式中,多为放射型分布方式,所以就会出现多级设置断路器或熔断器的情况出现,这就存在着上下级断路器或熔断器之间的级差配合是否具有选择性的问题,而上下级之间是否具有选择性保护,关系到出现故障时能否将故障限制在最小范围内,防止更大范围直流失电。

由于制造厂很难提供针对某个变电站直流系统短路故障时其产品的配合情况,所以在设计选型过程中,大都凭借以往的经验进行选择,对于级差配合是否具有选择性不得而知,针对这种情

况,以天津市电力公司的实际配置情况进行典型变电站直流熔断器和断路器级差配合情况的研究。

1 试验的方法和情况

1.1 试验思路

首先调研天津市电力公司所属的变电站,选出典型的直流系统配置情况,估算短路电流,利用模拟短路故障模拟系统输出短路电流,通过数据采集装置记录断路器或熔断器分断短路电流的过程,从而验证级差配合的选择性。熔断器、断路器级差配合试验原理图如图1所示。

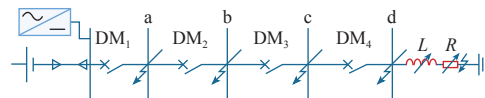


图1 熔断器和断路器级差配合试验原理图

1.2 试验原理图和试验设备

标称电压220 V的阀控式密封铅酸蓄电池组,容量为3 000 A·h(2组500 A·h和2组1 000 A·h),电源空载纹波系数不大于5%。通过可调电阻调节,预期短路电流,最大预期短路电流能达到6 000 A,短路电流的时间常数在0.5~1.5 ms之间。

测量短路电流,使用的是LEM公司使用的霍尔型电流传感器。为减小传感器量程不同所带来的误差,使用了不同量程的传感器,分别为200 A、1 000 A、2 000 A、5 000 A和10 kA,准确度为±1%。

数据采集装置使用日本日置生产的HIOKI8855存储记录仪,8个完全隔离的



郝晓光/高级工程师

关键词/Keywords

直流系统·
直流断路器·
熔断器·
级差配合·
短路试验·

输入通道, 20 MS/s, 12 bit 采样率。

1.3 短路电流的选取

根据DL/T 5004—2014《电力工程直流系统设计技术规程》要求^[2], 首先对直流系统不同地点的短路电流将进行估算

$$I_{DK} = nU_0 / [n(r_b + r_l) + \sum r_j + \sum r_k]$$

式中, I_{DK} 为断路器安装处短路电流, A; n 为蓄电池组单体数; U_0 为蓄电池开路电压, V; r_b 为蓄电池内阻, Ω ; r_l 为蓄电池间连接条或导体电阻, Ω ; $\sum r_j$ 为蓄电池组至断路器安装处连接电缆或导体电阻之和, Ω ; $\sum r_k$ 为相关断路器触头电阻之和, Ω 。

如图2所示, 以某变电站预计短路电力模拟图为例说明。

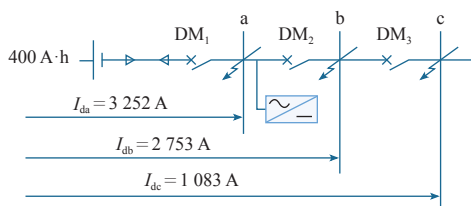


图2 某变电站短路电流估算模拟图

图2中, $DM_1 \sim DM_3$ 分别为不同位置的直流开关器; I_{da} 、 I_{db} 和 I_{dc} 分别为不同位置的短路电流估算值。

2 试验结论

2.1 交流断路器和直流断路器的配合使用

2.1.1 交流断路器使用在直流回路中的弊端

交流断路器灭弧原理和直流断路器并不相同, 由于交流过零点的存在, 使得熄灭电弧更加容易, 在自然过零点的时候, 弧隙电压会从0逐渐升高, 此时断路器的绝缘介质强度恢复速度强于弧隙电压升高速度, 就能使得电压不重燃。而直流回路中没有过零点, 在一定的电压下电弧持续燃烧, 所以熄灭直流电弧要困难得多。在直流系统中代替使用的交流断路器必须考虑这一特点, 一般采用电磁铁作电磁脱扣器的交流断路器, 其瞬动电流整定值将有所变化, 其瞬时动作整定电

流约为交流的1.30倍, 如交流的瞬动是 $10I_n$ (I_n 为额定电流), 则断路器用于直流电路, 应将其出厂试验时调整到 $13I_n$, 其整定误差值可以仍为 $\pm 20\%$ 。通过两个额定电流相同的交流断路器和直流断路器可以看出其分断直流电流能力的区别, 如图3和图4所示。

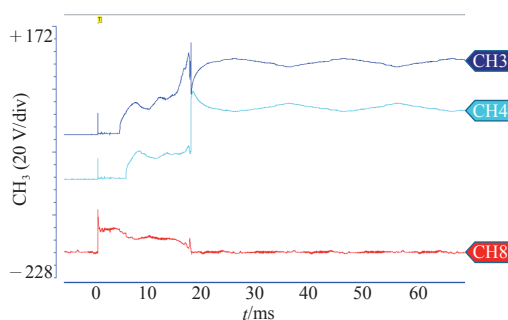


图3 交流断路器C65N额定电流6 A分断48 A直流电流波形图

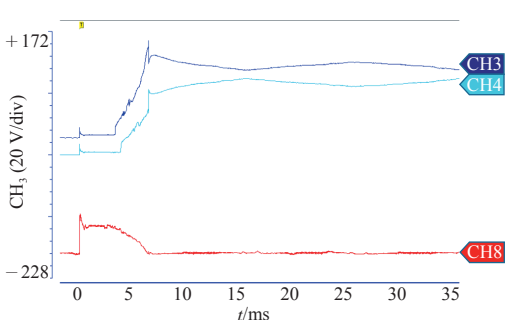


图4 交流断路器S252S额定电流6 A分断55 A直流电流波形图

2.1.2 直流断路器和交流断路器配合使用

目前系统中有直流微型断路器和交流微型断路器配合, 这种方式存在一定的弊端^[3]。选用带有额定电流有一定裕度的交流断路器代替直流断路器时, 需要对安装地点的短路预计电流进行计算, 防止在出现极限故障电流时越级跳闸, 但是由于短路电流估计的不准确性, 所以使用交流或交—直流两用断路器代替直流断路器都是不合理的。

试验中使用额定电流为20 A的直流断路器作为上级断路器和额定电流为6 A的交流断路器配合, 如图5所示。

输出短路电流为270 A。从试验波形图上可以看出, 由于下级的交流断路器不能及时地开断短路电流, 使得故障越级, 上级直流断路器动作。

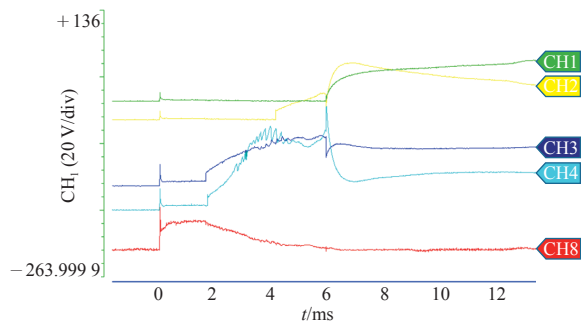


图5 额定电流6 A交流断路器和额定电流20 A直流断路器配合波形图

2.2 直流断路器和熔断器配合使用

天津地区变电站的直流系统中蓄电池出口均采用熔断器，再下一级采用直流断路器。

一般熔断器装在直流断路器的上级时，熔断器的额定电流是直流断路器额定电流的两倍以上。因为熔断器的熔断特性一般在 $10I_n$ 电流下，熔断时间一般不少于30 ms，这和直流断路器的动作时间相比要长，所以在下级使用断路器的时候，能使保护具有一定的选择性。由于天津地区的配置上级熔断器的额定电流远高于直流断路器的额定电流，所以在试验中是没有越级情况出现的^[4]。

另外由于天津地区不再采用直流断路器作为上级，熔断器作为下级的配合，老变电站里因为没有进行综合自动化改造而存在的也在逐步地随保护进行更换，所以没有选取变电站的配置进行此项试验，不过通过以前积累的数据和经验，熔断器作为下一级设备时，因为其本身熔断速度慢，所以要求上级的断路器与其额定电流的差值要大，推荐直流断路器的额定电流要大于熔断器的额定电流4倍以上，比如：上级32 A断路器，下级6 A熔断器相互配合在2 000 A左右的短路电流下是具有选择性的。

2.3 直流断路器和直流断路器的级差配合

直流断路器之间上下级配合的情况比较复杂，由于存在不同构架的断路器，所以两段式和三段式保护的断路器配合情况有所不同。

2.3.1 两段式保护直流断路器级差配合

两段式保护是指过载长延时保护+短路瞬时

保护。同样是两段式保护级差保护的特性会因为断路器的构架不同而不同。

(1) 塑壳式断路器和微型断路器相配合

根据直流断路器的构架不同，常用的断路器可分为塑壳式断路器和微型断路器，由于塑壳式断路器本身结构的原因，分断时间要大于微型断路器，在塑壳式断路器还没有动作的时候微型断路器已经动作完成了，所以提供了保护的选择性。

同时由于下级采用微型断路器，其良好的限流能力也使上级断路器免受强烈的冲击。在试验中，这种配合能使选择性短路电流达到上级塑壳式断路器额定电流的20倍。

(2) 两段式保护同种构架的直流断路器相互配合

两种相同构架的断路器相互之间配合，上级断路器和下级断路器的级差最好在4个以上，瞬时脱扣器整定约为额定电流的10倍^[5]，通过对短路点最大短路电流的计算可以对上一级断路器的选型提供依据，即脱扣器的动作电流大于短路点的最大预计短路电流。但是出现贯穿性短路电流的情况下，容易出现越级动作。

2.3.2 三段式保护断路器级差配合

三段式保护断路器是在具有过载长延时保护和短路瞬时保护功能基础上，增加了短路短延时保护，目的是在断路器经受 $10I_n$ 短路电流冲击的时候，形成一个10~30 ms的延时动作功能，从而将断路器脱扣器动作的时间拖后，以便让下级断路器有充分的时间将电弧熄灭，躲过短路电流的冲击，保证级差保护具有选择性。如图6~图7所示。

试验中使用两段式保护的断路器相互配合和三段式保护断路器的配合比较，明显地看出通过短路短延时，使得能够不越级的极限短路电流大大提高。

如图8所示，上级使用额定电流为32 A的两段式保护断路器，下级使用额定电流为6 A的两段式保护断路器，在输出短路电流为424 A的情况下出现了上下级同时动作的越级情况。而上级断路器使用三段式保护功能则出现了不同的情况，如图9所示，

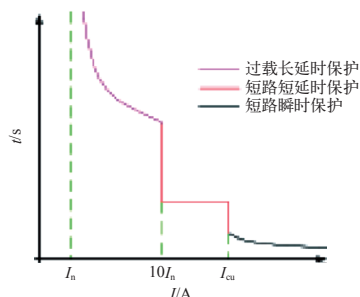


图6 三段式保护断路器动作特性

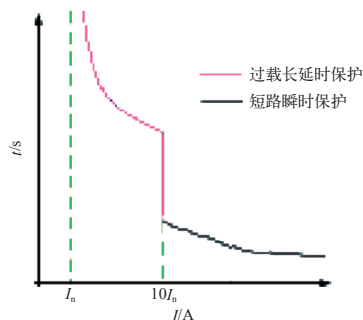


图7 两段式保护断路器动作特性

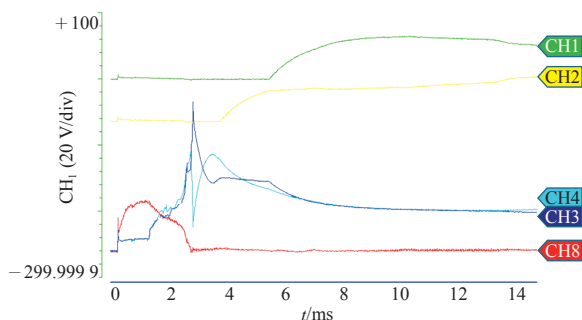


图8 两段式保护断路器相互配合

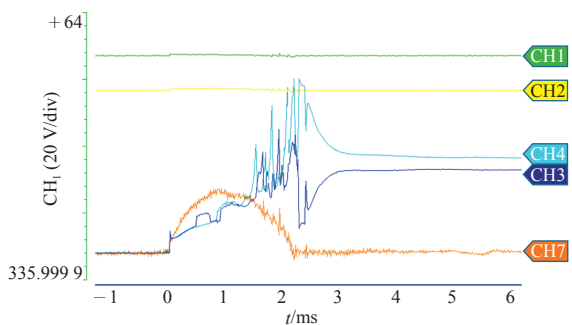


图9 三段式保护断路器相互配合

同样是额定电流32 A和6 A的断路器配合，但上级采用的是三段式保护配置的断路器，短路短延时的时间整定为10 ms，使得短路电流达到1 193 A的情况下依然没有越级动作。由于实际情况的复杂，同时下级断路器的限流功能，实际出现的短路电流并不会和理想情况下计算出的一样，所以

这种延时的保护方式加强了断路器的适应能力，保证了直流系统的安全。

3 提高直流系统运行的可靠性

3.1 优化接线

根据国网公司要求，保证直流系统供电的安全性，重要的110 kV变电站和220 kV以上变电站应使用3+2配置，系统中有2组电池和3组整流器组成，单母线分段接线和两段母线之间设分段隔离开关，并且在正常运行中保持分闸状态，只在故障情况下允许短时合闸运行。

直流系统馈电网络最好采用辐射供电方式^[6-7]，避免环状网络。这种方式减少了感应和电容耦合的干扰，并且在设备出现故障时可以方便地退出运行，解决故障。

3.2 保护电器的合理使用

合理地使用保护电器能使得直流系统在遇到事故情况，将事故在最近的地方切断，使其不影响上一级设备的运行，防止事故的扩大化。

1) 不使用交流断路器代替直流断路器接入直流回路。从试验结果中可以看到交流断路器和直流断路器开断情况的明显差异，因此使用交流断路器是不合理的。

2) 重要的直流断路器和蓄电池出口的总保险最好加装报警节点，并且将信号引到控制台，以便更好地监视其运行状态。

3) 直流系统中应满足3~4个级差的配置，并且应尽量使用一个厂家的同系列产品，利用其动作特性曲线的统一性提高级差保护的选择性^[8]。

4) 三段式保护能有效地提高直流回路抗短路电流冲击的能力，使回路具有更好的级差配合选择性。

4 结束语

综上所述，在变电站直流系统的运行中往往容易忽视级差保护配置的研究，但是在直流电源系统故障同时遭遇电网故障的情况下，容易造成

(下转第25页)

化、数据处理智能化的特点,适合西北荒漠化/半荒漠化地区开展光伏电站并网测试工作,能够推动我国光伏产业的健康发展。

检测试验顺利开展,标志着我国在高海拔地区光伏电站LVRT现场检测能力实现重大提升,并填补该领域的国内外空白。

参考文献

- [1] 施佳锋,沈燕,程彩艳,等.光伏发电有功自动控制技术[J].宁夏电力,2012(1):1-4.
- [2] 甄晓亚,尹忠东,王云飞,等.太阳能发电低电压穿越技术综述[J].电网与清洁能源,2011,27(8):65-73.
- [3] Q/GDW 617—2011 光伏电站接入电网技术规定[S].北京:中国电力出版社,2011.
- [4] GB/T 19964—2012 光伏电站接入电力系统技术规定[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [5] 张兴,张龙云,杨淑英,等.风力发电低电压穿越技术综述[J].电力系统及其自动化学报,2008,20(2):1-8.
- [6] 宋海涛.低电压穿越(LVRT)测试装置的研制[D].北京:北京交通大学,2011.
- [7] 李红涛,张军军,包斯嘉,等.小型并网光伏电站移动测试平台设计与开发[J].电力系统自动化,2011,35(19):39-42.

- [8] GB/T 20635—2006 特殊环境条件高原用高压电气的技术要求[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [9] 许帆,徐冬.浅谈高海拔地区对电气设备的影响[J].江苏建材,2013(5):30-31.
- [10] 刘振亚.高海拔外绝缘配置技术规范[M].北京:中国电力出版社,2009.
- [11] 杜宁,关永刚,张景升,等.40.5 kV真空断路器开断并联电抗器的现场试验[J].清华大学报:自然科学版,2010,50(4):517-520.
- [12] 谢天喜,周志成,陶凤波,等.真空断路器开断并联电抗器保护措施仿真分析[J].中国电力,2014,47(1):39-43.
- [13] 王思华.真空断路器截流过电压的分析及其限制措施[J].电气开关,2006(2):9-11.
- [14] 吉亚民,周志成,马勇,等.真空断路器投切并联电抗器过电压故障分析[J].江苏电机工程,2014,33(2):10-15.
- [15] 王建生,杨小冬,钟连宏.关于高电压绝缘试验时的几个校正因数的探讨[J].高电压技术,2000(6):63-65.
- [16] 范立军.高海拔地区大气参数对电气设备外绝缘影响的研究[D].大连:大连理工大学,2002.
- [17] NB/T 32005—2013 光伏电站低电压穿越检测技术规程[S].北京:新华出版社,2013.

(收稿日期:2015-05-26) **EA**

(上接第19页)

断路器无法正常动作,从而导致电网事故的扩大.因此有必要对直流系统开关配置进行梳理,利用本文提到的措施,提高直流电源系统的可靠性。

参考文献

- [1] 白忠敏.现代电力工程直流系统[M].北京:中国电力出版社,2003.
- [2] DL/T 5044—2014 电力工程直流系统设计技术规程[S].北京:中国电力出版社,2014.
- [3] 范瑞逢,邵卫祥.直流系统中空气断路器和熔断器级差配合试验研究简介[J].直流电源,2004(2).

- [4] 严浩军,范瑞逢.变电所直流电源系统存在的问题及其改进建议[J].浙江电力,2006(1).
- [5] 王鹏,韩京哲,刘润生,等.GM系列直流断路器级差配合试验分析[J].供用电,2003(2).
- [6] 彭向阳,陈献伟,潘龙.变电站直流系统常用断路器及熔断器动作特性分析[J].继电器,2006,34(23).
- [7] 项维,谢维兵.直流系统中馈电直流断路器的选用及安装[J].电工技术,2004(3).
- [8] 陈展尘.直流系统内熔断器与空气断路器配合的探讨[J].广东电力,2005,18(12).

(收稿日期:2015-06-04) **EA**