

变电站直流电源系统改造问题分析

王素华¹, 彭向阳², 韩潇¹, 吕树河², 宋建军³

(1. 河南省电力公司商丘供电公司, 河南 商丘 476000; 2. 开封供电公司, 河南 开封 475004;
3. 河南修武县电业局, 河南 修武 454350)

摘要: 为满足国家电网公司《十八项电网重大反事故措施》中对直流电源系统的新要求, 针对大规模变电站直流电源系统改造工作中出现的问题进行了分析并提出了指导性的建议。针对直流系统中将交流断路器更换为直流断路器时出现的极性接反问题, 通过对直流断路器的构造、灭弧原理进行解读, 明确了正确的接线方式; 针对直流系统负荷网络由环状供电向辐射状供电转换时出现的问题, 提出了三种负荷网络改造方案, 并深入分析了三种方案的优劣。针对直流电源系统中的级差配合及参数选型问题, 结合现场实测试验数据, 给出了直流空开容量配置的参考意见。

关键词: 变电站; 直流系统; 改造

Analysis of DC power system retrofit for substation

WANG Su-hua¹, PENG Xiang-yang², HAN Xiao¹, Lü Shu-he², SONG Jian-jun³

(1. Shangqiu Power Supply Company, Electric Power of Henan, Shangqiu 476000, China; 2. Kaifeng Power Supply Company, Kaifeng 475004, China; 3. Xiuwu County Electric Power Bureau, Xiuwu 454350, China)

Abstract: To meet the new requirement of direct-current power supply system in the 《Major Anti-accident Measures of 18 State Grid Corporation》, some problems arised in large-scale DC power system retrofit are analyzed and solved. In regard to the problem of polarity reversed when changing the circuit breaker of alternating current to the circuit breaker of direct current in DC power supply system, through the understanding of configuration of direct current's circuit breaker and arc extinction theory, acceptable connection method is found. For the problem of switch from loopyly connected to divergently connected power supply in DC power supply system's load network, three load network transformation proposals are put forward with advantages and disadvantages analysis. In DC power supply system, aiming at the problem of range coordination and model selection using parameters, also using practical tested figures on site, referencable advice is given to circuit breaker's capacity configuration.

Key words: transformer substation; DC power supply system; retrofit

中图分类号: TM63 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)17-0179-04

0 引言

变电站直流电源系统, 为运行中变电一、二次设备提供直流电源, 保证继电保护、通信远动、中央信号、事故照明以及控制操作的直流用电需求。作为全站最重要的公共系统, 它关联到几乎所有的变电设备, 随着近年来由于直流系统故障导致的电网、设备事故发生几率的上升, 直流电源系统的规范配置和稳定运行越来越受到电力专业人员的重视。

1 近年来变电站直流系统概况

随着电网的发展和继电保护装置双重化配置的普及, 变电站直流电源系统存在的配置不规范、设备质量不高、维护不到位等情况越来越突出, 为了消除薄弱环节, 河南省电力公司决定对常规变电站

进行大规模的直流电源系统改造工作, 并结合国家有关规范规定的要求对本省的直流电源系统改造提出了具体的指导意见。笔者在参与现场改造工作的过程中, 发现了一些有代表性的问题, 并进行了深入的思考和分析, 下面这些内容, 希望对广大电力同仁有所启发和帮助。

2 变电站直流电源系统中交流断路器更换为直流断路器时出现的问题

由于历史原因, 在变电站的直流电源二次回路中使用着一些交流断路器, 这是不符合相关技术规范要求的, 国网公司出版的《直流电源系统运行规范》^[1]中第四章第十二条第九款明确指出: “严禁直流回路使用交流空气断路器”, 另外, 《十八项电网重大反事故措施》(直流部分)^[2]中也对严禁直流回

路使用交流空气断路器做了明确要求。

直流回路中存在交流断路器的原因，一是由直流电源设备厂家提供的，二是购买变电站电器成套设备时附带的。在一些运行年限在6~10年以上的变电站中，这些交流断路器存在的数量是相当大的，为此，各地区供电公司对所辖每个变电站进行了大规模普查，并安排资金购买直流断路器予以逐步更换。

更换中，工作人员对直流断路器所起的特殊作用存在认识上的误区，主要表现在：

(1)简单地认为直流断路器与交流断路器只是在制造动静触点的材料上存在着差异；

(2)交流断路器更换为直流断路器时，机械照搬，把直流断路器对回路控制的接线模式看得和交流断路器的一样。

这些错误认识说明从业人员对直流断路器的构造和灭弧原理的认识不够清晰。

首先，直流断路器与交流断路器由于电源产生电弧的机理不同，使灭弧原理在构造上存在较大差别。直流断路器的触头接通和长期承载电流的性能与一般交流断路器相似，无特殊要求，它们的区别在于如何解决分断瞬间触头电烧损的问题。交流断

路器分断时产生的交流电弧每秒钟有 $2f$ (f 为电网频率) 次经过零点，通过近极效应，使电弧熄灭。因此，交流断路器要重点解决电弧重燃问题，即解决由导电状态恢复到介质绝缘状态的介质强度恢复问题。

而直流断路器分断时产生的直流电弧恒定不变，电流愈大，时间常数愈大，电弧就愈难熄灭，因此，直流断路器的触头分断中要引入强迫熄灭直流电弧的措施。直流断路器灭弧就是在抑止电弧游离因素的同时加强去游离因素，如采取将电弧拉入窄缝，增加动触头与栅片之间的距离等措施，或者在电弧内部设置障碍，使局部离子和电子复合，使去游离作用大于游离作用，从而使电弧熄灭。

因此，直流断路器在动静触头之间有永久磁铁或电磁线圈，产生磁场，磁通比较集中，它经铁心导磁夹板进入灭弧空间，并和灭弧片形成一层层闭合磁路，使电弧在强磁场作用下迅速由触头经引弧角引向灭弧室窄缝，栅片将电弧分割成一段段电弧，在灭弧罩和栅片的共同作用下，当近极处的电弧电压降加上弧柱的电压降足够大时，电源电压就不能维持电弧，因而灭弧。如图 1 所示。

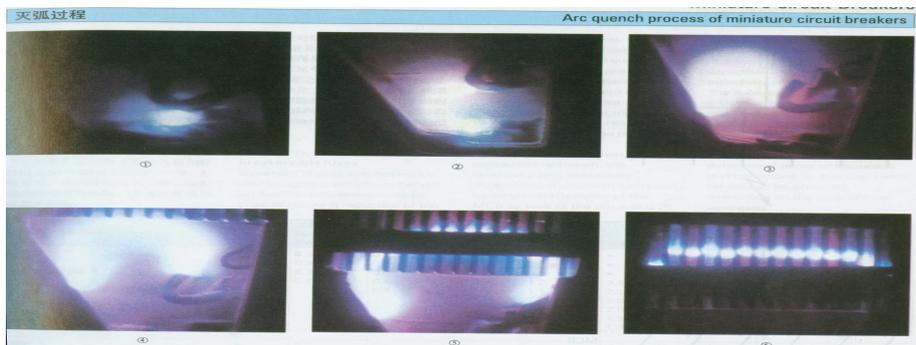


图 1 灭弧示意图

Fig.1 Interrupter process map

其次，由于直流断路器要靠固定方向的强磁吹弧来完成灭弧过程，因此对下级回路短路时在直流断路器内产生的磁场极性的方向是有规定的。也就是说，直流断路器的电源进出接线要对应于产生磁场要求，按极性接入，否则直流断路器内部所特有

的强迫灭弧措施将不会发挥作用，不能按设计要求灭弧。但由于对直流断路器构造特性不熟悉，现场更换交、直流断路器时，存在着极性接反的情况。图 2 为正确接线方式，极性按照直流断路器上的极性标注正确连接，图 3 为错误接线方式，极性接反。

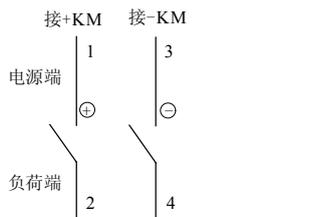


图 2 正确接线方式

Fig.2 Correct connection

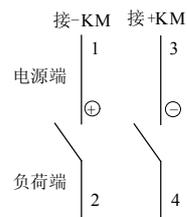


图 3 错误接线方式

Fig.3 Error connection

3 变电站直流电源系统负荷网络改造存在的问题

国网公司《十八项电网重大反事故措施》(直流部分)^[2]中指出:“新、扩建或改造的变电站直流系统的馈出网络应采用辐射状供电方式,不应采用环状供电方式”。在实际变电站直流馈线网络的改造中,特别是220 kV常规变电站的改造中,由于配备了两套直流系统,根据对终端负荷控制方式理解的不同,出现了改造方案的差异。

改造方案1:对于非综自变电站,两套直流系统分裂运行,分别从两套直流电源引出两路控制电源,在控制屏顶设置双段直流小母线,220 kV每个电气间隔保护用直流按照独立性原则分别从两段直流小母线上引取,两段控制母线间设置联络开关。

该方案的优点是接近传统控制习惯,直流屏馈线引出较少,不必增加分电屏。缺点是由于没有摆脱传统的控制母线,使回路的级差配合达到了4级,不利于级差配合和电源系统的可靠运行。

改造方案2:对于非综自变电站,两套直流电源分裂运行,取消控制屏顶的直流小母线,220 kV每个电气间隔双套保护装置的直流电源分别从两段直流电源屏(分电屏)上独立引取,并对有关操作控制回路进行适当改动。

改造方案3:对于综自变电站,两套直流电源分裂运行,220 kV每个电气间隔双套保护装置的直流电源分别从两段直流电源屏上独立引取,测控屏上设置两段直流电源小母线,分别来自两套直流电源,独立引取,中间设置母线联络开关,或者各间隔测控电源取两路直流,通过电源切换装置做到一主一备。此种方案在新建变电站中已经普遍采用。

方案2和3基本相同,通过增加直流分电屏,都能够满足直流负荷辐射分配改造的要求,只是由于变电站控制方式不同略有区别。优点是完全实现了直流负荷的单辐射控制,级差只有3级。缺点是电源馈线需求多,改造站可能要增加直流分电屏,另外,直流分电屏上的馈线断路器出现问题无法运行时,装置无法切换至另一路直流电源供电。

4 变电站直流电源系统中级差配合及参数选型中存在的问题

国网公司《十八项电网重大反事故措施》(直流部分)^[2]中指出:“加强直流熔断器的管理,防止越级熔断。各级熔断器的整定,应保证级差的合理配合。上、下级熔体之间(同一系列产品)额定电流值,应保证2~4倍级差,电源端选上限,网络末端选下限。

国网公司《直流电源系统运行规范》^[1]中同时指出“直流电源系统同一条支路中熔断器与空气断路器不应混用,尤其不应在空气断路器的上级使用熔断器。防止在回路故障时失去动作选择性。”

现场工作中,由于对回路级差配合特性了解不够深入,为了防止越级跳闸,部分变电站改造中出现了盲目扩大直流电源馈线断路器额定电流提高配合系数,导致灵敏度下降等情况,对蓄电池组的出口熔断器(断路器)的配合带来隐患。因此,有必要对现场改造中的直流断路器额定电流选择进行计算校核,合理选择各级配合。为了确定直流断路器安秒动作特性,需对典型直流断路器的动作特性的试验数据进行统计分析。如表1所示。

根据试验统计数据结果,可以了解到目前常用直流断路器的安秒动作特性,结合直流系统设计规程中馈线回路设计要求,现场应重点考虑短路瞬时脱扣的配合选择。对于存在三级配合的保护用单辐射直流馈线回路,直流屏馈线的直流断路器不宜低于20~25 A额定电流,保护屏上保护装置的直流电源断路器额定电流宜控制在3 A及以下。同时设计及设备选型应注意有利于直流馈线短路电流的限流,根据蓄电池厂提供的内阻和短路电流,考虑馈线、断路器等的相关电阻计算出直流系统最大短路电流,用短路电流校验空气开关的电磁脱扣是否配合。如果有上下级不能很好配合时,则应通过适当调整直流断路器的额定电流、使用具有一定限流功能直流断路器、调整馈线电缆线径等方法实现配合,以使变电站直流电源系统满足级差配合的先决条件。在变电站蓄电池组容量因为扩建、技改而发生变化时,也应对变电站的直流短路电流重新校核计算,以确定相关设备的直流断路器是否满足配合要求,是否需要调整级差配置。

蓄电池组的出口熔断器(断路器)额定电流应比较蓄电池1 h放电率电流和大于直流馈线中断路器额定电流最大一台且取2~3倍配合系数,选其最大的为出口熔断器(断路器)额定电流。

同一直流电源内的直流断路器宜尽量选择同类型、同厂家的产品,以缩小不同类型、不同厂家断路器特性差异对级差配合带来的影响。在直流断路器的上一级避免使用熔断器,不能立即改造的熔断器,其额定电流应保持两倍以上断路器额定电流,且在下级负载因短路跳开后应及时更换上一级熔断器,以减少熔断器老化离散性带来的影响。同理,蓄电池出口熔断器也宜两年更换一次,且蓄电池出口熔断器熔断报警触点必须单独设置信号,报警信号宜直接接入变电站告警信号系统。

表 1 常用直流断路器动作特性试验平均数据统计表

Fig.1 Average data tables of DC circuit breaker from all the tests

额定电流	通入电流		$1.3I_n$	$1.5 I_n$	$2 I_n$	$3 I_n$	$5 I_n$	$8 I_n$	$10 I_n$	$14 I_n$
$I_n=1 A$	动作时间/s	ABB	548.4	92.44	37.99	17.77	7.58	4.07	1.132	0.009
		北人	>2 h	99.50	63.83	21.34	7.59	0.52	0.008	0.006
$I_n=3 A$	动作时间/s	西门子	746.4	117.8	45.56	16.66	6.36	1.88	0.034	0.007
		ABB	274.0	104.4	53.71	16.94	4.54	3.93	0.015	0.008
		北人	118.5	66.83	35.08	15.26	6.63	2.94	0.073	0.020
$I_n=6 A$	动作时间/s	西门子	1 403	54.22	15.30	5.14	1.56	0.054	0.008	0.007
		ABB	>2 h	176.3	48.79	16.60	7.56	2.29	0.007	0.006
		北人	>2 h	>2 h	78.13	14.03	4.41	1.59	0.272	0.007
$I_n=10 A$	动作时间/s	西门子	2 096	226.3	35.73	11.02	3.38	1.14	0.025	0.006
		ABB	>2 h	554.5	50.11	11.39	3.11	1.13	0.011	0.006
		北人	>2 h	206.1	26.23	7.83	2.22	0.77	0.027	0.017
$I_n=20 A$	动作时间/s	西门子	>2 h	573.3	52.76	9.76	2.88	0.86	0.216	0.005
		ABB	>2 h	1 431	72.71	12.78	3.67	1.24	0.389	0.005
		北人	>2 h	191.1	31.79	7.34	3.66	0.67	0.065	0.005
$I_n \geq 40 A$	动作时间/s	西门子 (50 A)	>2 h	928.2	187.5	33.99	6.29	1.72	0.326	0.004
		ABB (63 A)	>2 h	1 231.0	176.4	43.44	8.97	3.53	0.005	0.004
		北人 (40 A)	>2 h	428.0	28.11	5.89	1.72	0.54	0.182	0.004

5 结论

目前变电站直流电源系统存在的许多问题，主要是历史上电源端与负荷端缺少统一、有效的规范约束造成的，是暂时性的。由于它的可靠运行牵涉到设计、设备选型、电气成套厂家、运行维护等多个方面，因此，在做好运行变电站直流系统改造的同时，应做好直流系统现有问题的调查研究，对相关环节的技术规范和应用标准加以融合，做出明确、统一的规定，使有关方面早日执行强制性标准，杜绝类似问题的重复发生。

参考文献

[1] 国网公司直流电源系统运行规范[S]. State Grid Corporation of China. DC power system operation norms[S].
 [2] 国网公司十八项电网重大反事故措施（直流部分）[S].

State Grid Corporation of China 18 State Grid Corporation of major anti-accident measures[S].

[3] 彭向阳. 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) : 58-61.
 PENG Xiang-yang. Substation circuit breakers and fuses used DC system operating characteristics analysis[J]. Relay, 2006, 34 (23) : 58-61.

收稿日期: 2009-12-08; 修回日期: 2010-03-26

作者简介:

王素华 (1971-), 女, 技师, 专科, 从事继电保护方面工作; E-mail:shqwsh@yahoo.com.cn
 彭向阳 (1968-), 男, 高工, 本科, 长期从事继电保护方面工作;
 韩 潇 (1976-), 女, 高级工程师, 硕士, 研究方向为电力系统保护与控制。