

高压电器

03
2017

第53卷 第03期

2017年03月

Vol.53 No.03 Mar.2017

GAOYA DIANQI

西安高压电器研究院有限责任公司主办

HIGH VOLTAGE APPARATUS



海兴电力科技

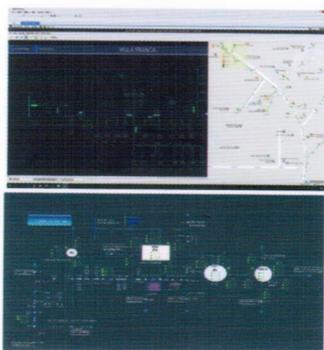
Hexing Electrical Co., Ltd.



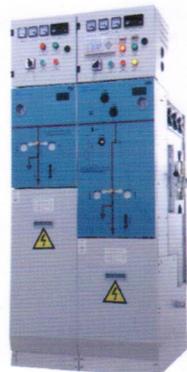
扫描二维码
了解更多资讯

智能配网整体解决方案提供商

提供配网自动化完整解决方案，贯通配网自动化主站系统、一次设备到智能终端的产业链



DMS系统



一二次融合智能环网柜



一二次融合智能开关



DTU/FTU



海兴电力 603556

南京海兴电网技术有限公司

地址/南京市江宁区庄排路109号 电话/+025-52768391 传真/025-52768396

Email/gnmarket@hxgroup.co 热线电话/4009 955981 网址/www.hxgroup.cn

ISSN 1001-1609



9 771001 160178

03



DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2017.03.029

关于快速真空断路器两个应用场合的商榷

刘景博¹, 时卫东², 李品德³

(1. 西安高压电器研究院有限责任公司, 西安 710077; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100107;
3. 陕西电力科学研究院, 西安 710054)

摘要: 文中论述了快速真空断路器和基于爆破切割技术的限流器(FCL)的工作特点,分析了快速真空断路器在零损耗限流装置和母联位置这两种应用场合下可能存在重大安全隐患,指出在目前的技术条件下在上述两种应用场合中 FCL 具有独特作用。

关键词: 快速真空断路器; 高速真空断路器; 爆破切割; 限流器; 零损耗限流装置; 母联开关; 应用

Analysis on Two Applications of Fast Vacuum Circuit Breaker

LIU Jingbo¹, SHI Weidong², LI Pinde³

(1. Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710077, China; 2. EPRI China, Beijing 100107, China; 3. Shaanxi EPRI, Xi'an 710054, China)

Abstract: The operating features of the fast vacuum circuit breaker (VCB) and the fault-current limiter (FCL) based on blasting-cutting technique are elaborated. It is indicated that the applications of fast VCB to zero-loss current limiting device and bus-bar connection position may result in serious hidden safety danger, while FCL may play a unique role in such two applications in present technical condition.

Key words: fast-speed VCB; high-speed VCB; blasting-cutting; fault-current limiter(FCL); zero-lost current limiting device; bus-bar connection switch; application

0 引言

目前电力市场出现了一种快速真空断路器,也被称为“高速真空断路器”、“高速开关”、“高速涡流断路器”、“可恢复大容量高速开关”等等,其代表产品型式试验确认的基本参数^[1-2]:①电气参数:额定电压 12 kV,额定电流 1 600 A,额定短时耐受电流 40 kA,额定峰值耐受电流 100 kA,振荡回路上进行的研究性试验标明的参数可能更高;②机械参数:开距 5 mm,超程 2 mm,分闸时间 4~6 ms,合闸时间 11~16 ms,机械寿命 10 000 次。这种断路器采用了改进的永磁机构,通过专用的控制装置快速识别故障电流并发出断路器操作命令,从故障发生到故障切除的总时间在 30 ms 以内。文中之所以把这种断路器称为快速真空断路器,是为了与分闸速度更快(分闸时间可小于 2 ms)的基于电磁斥力机构的真空

断路器相区别,后者已进行了大量研究^[3-11],从相关资料分析,已有研制产品进入相应领域试运行。

近几年快速真空断路器在一些需要快速开断或快速合闸的场合得到了一定的应用,但在快速开断应用方面有两种使用场合值得商榷,出现这些不同认识的根源是忽视系统或其他相关设备的短时耐受电流承受极限、试图采用快速真空断路器替代基于爆破切割技术的限流器(FCL)以期获得可重复使用的效果,文中将着重对此进行分析。

1 开断特性

1.1 快速真空断路器的开断特性

要正确应用快速真空断路器,就要先了解其开断特性。普通真空断路器和快速真空断路器开断短路电流的波形示意图分别见图 1、2。普通真空断路器自身分闸时间一般在 30 ms 附近,传统继电保护及信号回路的响应时间在 50 ms 附近,再加上分闸

后的燃弧时间将近 10 ms，所以其故障最快切除时间接近 90 ms。

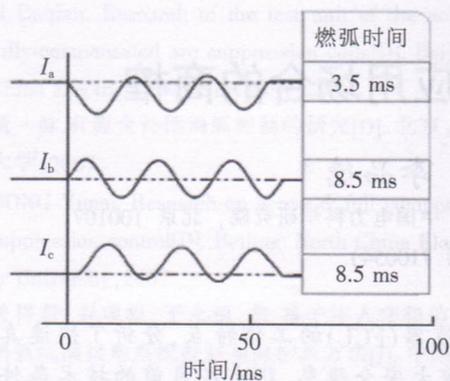


图1 普通真空断路器开断 31.5 kA 短路电流波形示意图
Fig.1 The waveforms of normal VCB breaking 31.5 kA fault-current

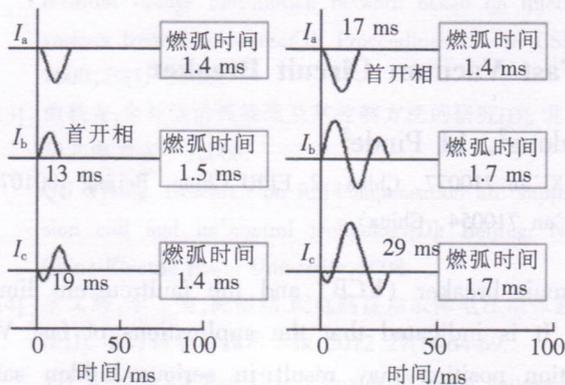


图2 快速真空断路器开断 40 kA 短路电流的典型波形
Fig.2 The typical waveforms of fast-speed VCB breaking 40 kA fault-current

如上所述，快速真空断路器分闸时间缩减到 4~6 ms，专用智能识别装置故障响应时间一般不大于 6 ms，并可将燃弧时间缩短到 2 ms 以内，所以采用快速真空断路器后故障最快切除时间可以控制到 30 ms 以内。在这里，总结一下快速真空断路器的开断特性：①故障最快切除时间可以缩短到 30 ms 以内，明显优于普通断路器；②与普通断路器一样，故障电流只能在电流自然过零点开断；③开断过程不具备限流特性；④快速真空断路器一般为分相操作，可以采用智能识别将各相燃弧时间控制在 2 ms 以内，并以此提高断路器的开断能力；⑤与普通断路器一样，快速真空断路器是可以重复使用的，具体效果有待观察。

1.2 FCL 的开断特性

基于爆破切割技术的限流器(FCL)的主导电回路由爆破式高速隔离器和特种限流熔断器构成，一旦其专用控制器检测到故障电流信号即瞬间触发爆破式高速隔离器动作，故障电流在 1 ms 时间内即可转移到特种限流熔断器中，并在大约 5 ms 时间内完

成限流开断，波形示意图见图 3。在这里，总结一下 FCL 的开断特性：①故障电流切除时间小于 10 ms；②开断过程具有良好的限流特性；③不需要故障电流有自然过零点即可开断；④主要开断部件不能重复使用。

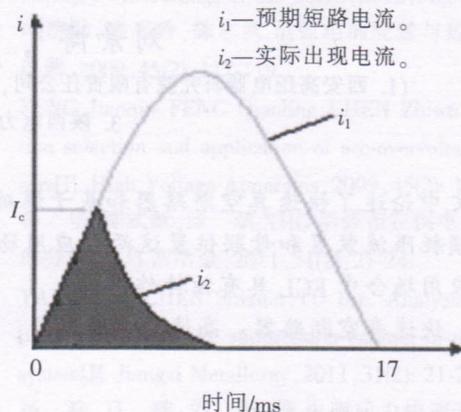


图3 FCL 开断短路电流的典型波形
Fig.3 The typical waveforms of FCL breaking fault-current

2 应用场合 1

采用快速真空断路器替代 FCL 构成零损耗深度限流装置。若电力系统某个结点短路电流过大，传统方法就是串联限流电抗器以增加回路阻抗减小短路电流，但这个限流电抗器有功损耗很大。所谓零损耗深度限流装置就是采用快速真空断路器与线路旧有限流电抗器并联构成电流主回路，正常情况下限流电抗器被快速真空断路器旁路呈现出零损耗通流状态，出线端一旦存在超出测控单元设定值的短路电流时，测控单元向快速真空断路器发出分闸命令，随着断路器的开断，电流将从断路器支路转移到限流电抗器支路从而起到限流作用。短路故障消失后，测控单元控制断路器自动合闸，恢复到零损耗通流状态^[2]。采用快速真空断路器旨在消除正常通流状态下限流电抗器的巨大损耗和可观的电压降落，达到节能降耗、提高电压质量、无损限流的目的，但需要认真分析的是该用法能否真正安全可靠的达到上述目的。

零损耗限流装置应用示意图见图 4。发电机出口短路电流过大，超出普通断路器 VCB₂ 的开断能力或系统其它电力设备的承受能力，采用零损耗限流装置试图限制发电机出口的短路电流并消除电抗器损耗，短路电流最终将由 VCB₂ 开断。故障电流通过零损耗限流装置处理后的波形见图 5。

由图 5 可看出： t_0 时刻短路故障发生， t_1 时刻故障电流开始向限流电抗器转移， t_3 时刻故障电流被 VCB₂ 开断。值得注意的是，并不是断路器触头一打

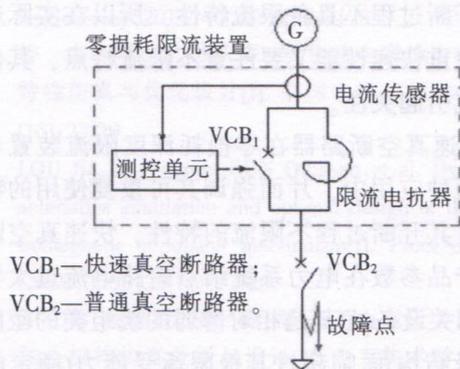


图4 零损耗限流装置应用示意图

Fig. 4 The schematic diagram of zero-lost fault-current limit device

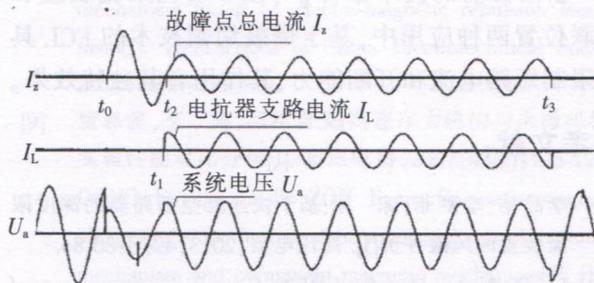


图5 通过零损耗限流装置的短路电流的波形示意图

Fig. 5 The schematic waveforms through zero-lost fault-current limit device

开故障电流就可以转移到电抗器支路，这是因为断路器触头打开后断口起弧，而电弧压降很低（大约只有 100 V），电抗器支路的阻抗为欧姆级，所以只有断路器在故障电流自然过零时刻的开断点附近，故障电流才能顺利转移。

由于电流由快速真空断路器 VCB_1 转移到限流电抗器中需要将近 30 ms 时间，在转移前故障电流不受限制，显然此时流过故障点的总电流 I_2 必然会大大超过了与串抗匹配的断路器 VCB_2 的承受能力，即超过了 VCB_2 的额定峰值耐受电流及额定短时耐受电流极限值。虽然在 30 ms 内电流可以完全转移到限流电抗器使故障电流恢复到 VCB_2 及系统可以接受的安全范围，但这已经无济于事， VCB_2 或系统其他设备已经遭遇了超量值短路电流热效应和力效应的冲击，尤其是力效应与电流峰值的平方成正比，这个电动力将瞬间破坏 VCB_2 或相应设备的机械结构甚至造成电气绝缘失效，给用户电力系统带来重大的安全隐患。

另外，若系统失去电抗器限流时的短路电流大到一定程度，快速真空断路器 VCB_1 自身的额定峰值电流耐受能力是否满足要求也需根据实际应用情况进行充分评估。

如假设图 4 中发电机出口短路电流为 60 kA、

峰值电流水平 $2.5 \times 60 \text{ kA} = 150 \text{ kA}$ ，经过限流电抗器后短路电流为 30 kA、峰值电流水平 $2.5 \times 30 \text{ kA} = 75 \text{ kA}$ ，断路器 VCB_1 、 VCB_2 的额定短时耐受电流为 40 kA、额定峰值耐受电流为 $2.5 \times 40 \text{ kA} = 100 \text{ kA}$ 。那么在故障发生后 30 ms 内，故障电流 = VCB_1 中的电流 = VCB_2 中的电流，该电流没有转移到限流电抗器中所以没有受到限制，此时电路中的峰值电流将是 150 kA，超过 VCB_1 、 VCB_2 的极限耐受能力 100 kA，电动力将是断路器极限耐受能力的 $(150 \text{ kA}/100 \text{ kA})^2 = 2.25$ 倍，是限流电抗器限定的电动力水平的 $(150 \text{ kA}/75 \text{ kA})^2 = 4$ 倍。很明显，电流转移前， VCB_1 、 VCB_2 发电机等都将面临超额峰值电流电动力的威胁，这个电动力将数倍于设备的极限耐受水平，而这个电动力将在瞬间产生破坏效果，这种破坏力与故障电流限定后持续时间没有密切关联。

若将上述快速真空断路器更换为 FCL，则可消除上述隐忧。采用 FCL 前、后主回路故障电流示意图见图 6。图 6 中的虚线是限流电抗器被旁路后的预期故障电流，实线为主回路中实际出现的故障电流。显然该故障电流等同于限流电抗器没有被旁路时的水平，对于发电机、 VCB_1 、 VCB_2 等而言全程是安全的。

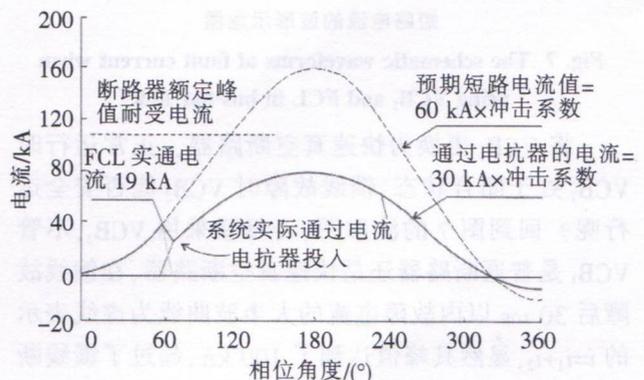


图6 将快速开关更换为 FCL 后主回路短路电流的波形对比示意图

Fig. 6 The comparison waveforms of fault current in main loop replacing fast-speed VCB with FCL

3 应用场合 2

采用快速真空断路器替代 FCL 用作大容量变电站母联开关，见图 7。若两段 10 kV 母线能并列运行（即 VCB_1 闭合），则带来的好处是：优化负荷分配，降低变压器负载损耗，提高电压质量及供电可靠性。但假若两台 110 kV 变压器分别可向 10 kV 侧故障点提供 20 kA 短路电流，母联开关 VCB_1 及馈线开关 VCB_2 为普通断路器（额定短时耐受电流 31.5 kA，额定峰值耐受电流 80 kA），那么正常运行时 VCB_1

必须断开处于热备用状态,若 VCB₁ 闭合则馈线发生短路时故障电流稳态值将达到 40 kA,此电流馈线断路器 VCB₂ 将无法安全承受,更谈不上安全开断。

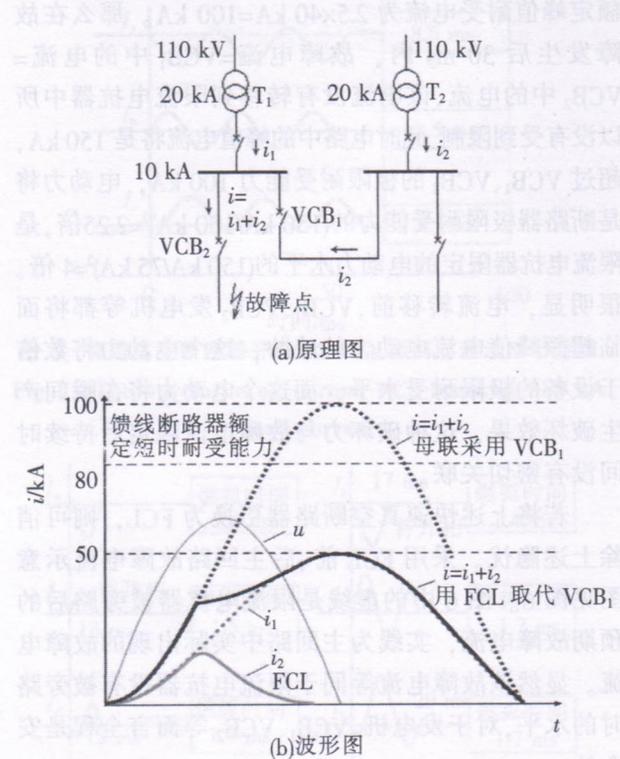


图 7 母联位置采用 VCB₁ 及 FCL 时故障点短路电流的波形示意图

Fig. 7 The schematic waveforms of fault current when using VCB₁ and FCL in bus-bar link

将 VCB₁ 更换为快速真空断路器,正常运行时 VCB₁ 处于闭合状态,馈线故障时 VCB₂ 能否安全运行呢?回到图 7 的波形图,若母联采用 VCB₁,不管 VCB₁ 是普通断路器还是快速真空断路器,在馈线故障后 30 ms 以内故障电流的大半波曲线为虚线表示的 $i=i_1+i_2$,显然其峰值达到了 100 kA,超过了馈线断路器 VCB₂ 额定峰值耐受电流 80 kA 的极限值,这时虽然 VCB₂ 还只是连接在电路中不会立即执行开断行为,但其在 100 kA 峰值电流作用下由于电动力效应而导致结构损坏也是情理之中的事,事故隐患已经明显呈现。

若采用 FCL 取代 VCB₁^[13],则情况则大不相同,图 7 中实线 i_2 显示的故障电流即为通过 FCL 的电流,这时通过故障点或流过馈线开关 VCB₂ 的电流曲线如图实线 $i=i_1+i_2$ 所示,显然此电流没有超过单台变压器提供的短路电流,对于系统和 VCB₂ 而言是安全的。

4 结论

快速真空断路器可以在 30 ms 内切除故障,但

由于其开断过程不具备限流特性,所以在实际应用中应既注重快速性能又要注意不限流特点,其使用局限性应引起关注。

1)快速真空断路器在零损耗深度限流装置和母联位置两种应用中,片面强调其可重复使用的特性而忽视了其开断过程不限流的特性,快速真空断路器主流产品参数在电力系统结点短路电流过大导致系统及相关设备(尤其是相对薄弱的绕组类的匝间和层间绝缘结构)面临超过其极限承受能力(额定峰值耐受电流)的电动力的冲击,为系统及设备的安全运行埋下了重大事故隐患。

2)在目前的技术条件下,在零损耗限流装置和母联位置两种应用中,基于爆破切割技术的 FCL 具有限制短路电流和开断能力,其作用有其独特效果。

参考文献:

- [1] 李品德,李梦菲,陈刚.基于快速真空断路器的深度限流装置的风险评价[J].高压电器,2013,49(7):80-84.
LI Pinde,LI Mengfei,CHEN Gang.Risk assessment of deep short-circuit limiting device with zero-lost based on fast-speed vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2013,49(7):80-84.
- [2] 徐向东.快速限流装置在电力系统中的应用[J].高压电器,2007,43(4):295-297.
XU Xiangdong,Application of I-limiter in electrical network[J]. High Voltage Apparatus,2007,43(4):295-297.
- [3] 王子健,何俊佳,尹小根,等.基于电磁斥力机构的 10 kV 快速真空开关[J].电工技术学报,2009,24(11):68-75.
WANG Zijian,HE Junjia,YIN Xiaogen,et al.10 kV high speed vacuum switch with electromagnetic repulsion mechanism[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2009,24(11):68-75.
- [4] 史宗谦,贾申利,朱天胜,等.真空直流断路器高速操动机构的研究[J].高压电器,2010,46(3):18-22.
SHI Zongqian,JIA Shenli,ZHU Tiansheng,et al.Investigations on high-speed actuator of vacuum DC circuit breaker [J]. High Voltage Apparatus,2010,46(3):18-22.
- [5] 毛海涛,陆恒云.快速电磁斥力机构的有限元分析[J].高电压技术,2009,35(6):1420-1425.
MAO Haitao,LU Hengyun.Finite element analysis of fast electromagnetic repulsion mechanism[J]. High Voltage Engineering,2009,35(6):1420-1425.
- [6] 黄瑜珑,张祖安,温伟杰,等.高压直流断路器中斥力快速驱动器研究[J].高电压技术,2014,40(10):3171-3178.
HUANG Yulong,ZHANG Zu'an,WEN Weijie,et al.Research on an ultrafast driver for HVDC circuit breaker with electromagnetic repulsion mechanism[J]. High Voltage

- Engineering, 2014, 40(10):3171-3178.
- [7] 姜杰, 李庆民, 孙庆森, 等. 快速电磁推力机构的动态特性仿真与优化设计[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(16):23-29.
- LOU Jie, LI Qingmin, SUN Qingsen, et al. Dynamic characteristics simulation and optimal design of the fast electromagnetic repulsion mechanism[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(16):23-29.
- [8] 江壮贤, 庄劲武, 王晨, 等. 基于电磁斥力原理的高速触头机构仿真分析与设计[J]. 电工技术学报, 2011, 26(8):172-177.
- JIANG Zhuangxian, ZHUANG Jinwu, WANG Chen, et al. Simulation analysis and design of a high-speed contact-mechanism based on electro-magnetic repulsion mechanism[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(8):172-177.
- [9] 董恩源, 李博, 邹积岩. 超高速斥力机构与永磁机构的实验性能对比分析[J]. 高压电器, 2007, 43(2):125-126.
- DONG Enyuan, LI Bo, ZOU Jiyan. Comparison analysis of experiment performance between high-speed repulsion-mechanism and permanent magnetic mechanism[J]. High-Voltage Apparatus, 2007, 43(2):125-126.
- [10] 武瑾, 庄劲武, 王晨, 等. 电磁斥力机构数学模型的简化与求解[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(24):175-182.
- WU Jin, ZHUANG Jinwu, WANG Chen, et al. Simplification and solution of the mathematical model to electromagnetic repulsion mechanism[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(24):175-182.
- [11] 曹鹏飞, 姜楠, 赵成宏. 电磁斥力机构缓冲方法研究[J]. 船电技术, 2014, 34(7):35-37.
- CAO Pengfei, JIANG Nan, ZHAO Chenghong. Research on damping method for electromagnetic repulsion mechanism[J]. Marine Electric & Electronic Technology, 2014, 34(7):35-37.
- [12] 程艳兵, 王志鹏, 祁福. 零损耗深度限流装置的优化与应用[J]. 铜业工程, 2012, 116(4):41-44.
- CHENG Yanbing, WANG Zhipeng, QI Fu. Optimization and application of zero loss depth limiting device[J]. Copper Engineering, 2012, 116(4):41-44.
- [13] 林立轩, 李品德. 超高速开关装置在大容量配电变电站的应用研究[J]. 高压电器, 2007, 43(3):207-211.
- LIN Lixuan, LI Pinde. Study on application of super-high-speed switchgear in large-capacity distribution substation[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(3):207-211.

刘景博(1966—), 男, 教授级高级工程师, 从事高压开关产品研制和工程应用。