

24-27.55

一种实用化的混合式高压限流开断器

西北电力试验研究院(西安 710054) 李品德

TM563.1

【摘要】 混合式高压限流开断器是一种经济实用的故障电流限制器,在国外已有多年的成熟应用经验。本文着重介绍其结构特点及在电力系统或相关行业的应用情况,有助于国内有关工程技术人员全面认识此类产品,并为今后限流器的开发工作提供技术和市场方面的参考。

【关键词】 故障电流限制器 混合式高压限流开断器 应用

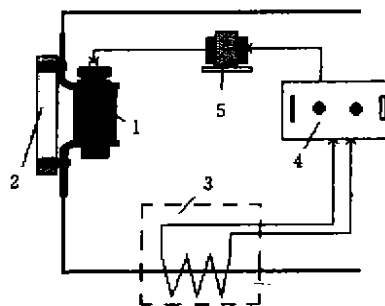
中图分类号:TM563 文献标识码:A 文章编号:1008-4835(2000)02-0024-27

熔断器

0 概述

混合式高压限流开断器又称混合式熔断器、限流保护器(Current Limiting Protector)、短路电流限制器(Is-Limiter)等,它是一种经济实用的限流器产品。在法国70年代已着手开发,80年代即应用到电力工业和相关行业的快速保护系统。迄今全世界已有几千套混合式高压限流开断器正在运行。此产品具有开断速度快、限流能力强、自身功耗低、体积小及价格合理等突出优点,其中限流性和快速性是任何断路器不可比拟的。目前,在我国此类电力产品尚属空白。主要原因是我国电力发展水平与国外相比还存在一定的差距,另一方面则是对其技术及工业应用的认识不足。国内的专业期刊偶尔有文章对此类产品从结构上作了一些简单介绍,但也只是粗略的,而且在具体应用方面的分析还很缺乏。本文着重于结构特点及具体应用的介绍,以期此产品在我国电力系统发挥其应有的作用。

熔断器中几乎没有电流。故障出现时,控制器通过传感器输入的信号进行判断,当确认 i 或 di/dt 超过整定值时,即向脉冲变发出点火脉冲,引发隔离器中的爆炸物,迅速形成隔离断口,电流同时全部转移到熔断器中,此过程一般只需 $400\mu s \sim 2ms$ 的时间。熔断器在过电流作用下,熔体迅速气化,对故障电流产生强大的限制作用,并在 $4 \sim 6ms$ 的时间内将电流切断。



1—快速隔离器 2—高压限流熔断器 3— i 或 di/dt 传感器

4—电子控制器 5—脉冲点火变压器

图1 混合式高压限流开断器原理框图

1 工作原理及结构

1.1 工作原理

如图1所示,混合式高压限流开断器一般由五部分组成:快速隔离器、高压限流熔断器、电流 i 或 di/dt 传感器、电子控制器、隔离式脉冲点火变压器。其中隔离器和熔断器并联构成一次电路。正常情况下,由于回路电阻分配的关系,几乎全部电流都从隔离器中流过,

不同公司的混合式高压限流开断器的区别主要是在快速隔离器部分。如图2所示,(a)采用铜块撞断机构在故障到来时将主载流回路隔离^[1];(b)采用爆破桥机构,故障电流出现时,爆破桥被引爆,桥身从中部炸断,并向相反的方向弯曲收缩,使主载流回路形成隔

离断口^[2]; (c) 采用高温爆破切割技术, 使主载流回路的导电铜棒从四个凹部同时炸断, 从而形成可靠的隔

离断口^[3]。图中虚线部分表示隔离断口形成后的形态。

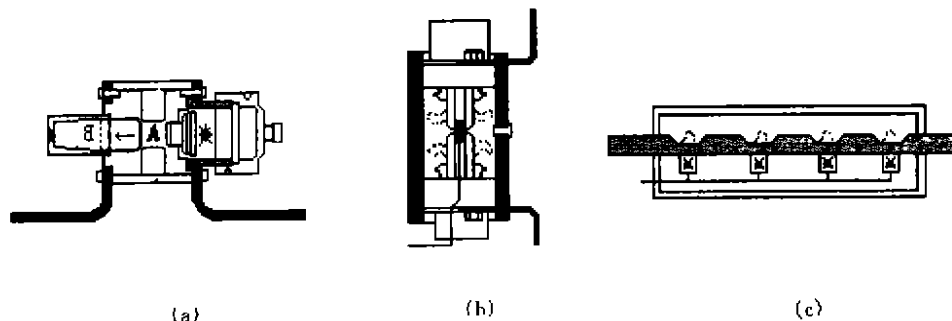


图2 快速隔离器的几种结构形式

1.2 结构剖析

下面以图2(a)所示的快速隔离器为背景, 着重介绍法国 FERRAZ 公司的混合式高压限流开断器。

图3(a)及图3(b)分别是快速开断器动作前后的内部结构形态示意图, 显然快速开断器由快速隔离器和限流熔断器组成。而快速隔离器则由动力装置、活塞、机加工铜块、楔形小室、接线端子和外壳组成。隔离器及限流熔断器的外壳是由高强度玻璃纤维制成。这种熔断器比普通高压限流熔断器的开断能力更强, 开断电流预期值可达 200 kA。正常状态下电流通过机加工铜块和接线端子流通。机加工铜块的中部为一可撞断铜块, 动力装置动作后, 活塞在爆炸力推动下撞击铜块, 使可撞断铜块以 45 m/s 的速度进入楔形小室, 从而形成隔离断口。其中活塞的总行程约 5 mm。

电流在向限流熔断器转移的过程中, 逐渐形成的隔离断口中会有电火花产生, 这时环形小室 9 中预先填充的特殊润滑性绝缘粉末将起到熄灭电火花的作用, 从而使开断器可以开断更高的预期故障电流。另外, 这种将爆炸小室与隔离断口室分开的两室结构, 避免了炸药爆炸后产生的烟雾影响隔离断口绝缘的可能性, 有利于开断能力的提高。

至于动力装置, 其内部结构见图3(c), 它由连接器、点火引线、初始爆炸物、主爆炸物、活塞及外壳构成。动力装置的外壳是由约 10 mm 厚的钢材制成; 初始爆炸物通常称为“雷管”(Lead hydrazoate); 主爆炸物为一种非常稳定的炸药—环三次甲基三硝基胺(hexogen), 重约 250 mg (300 mg 以内的炸药可通过航空运输)。

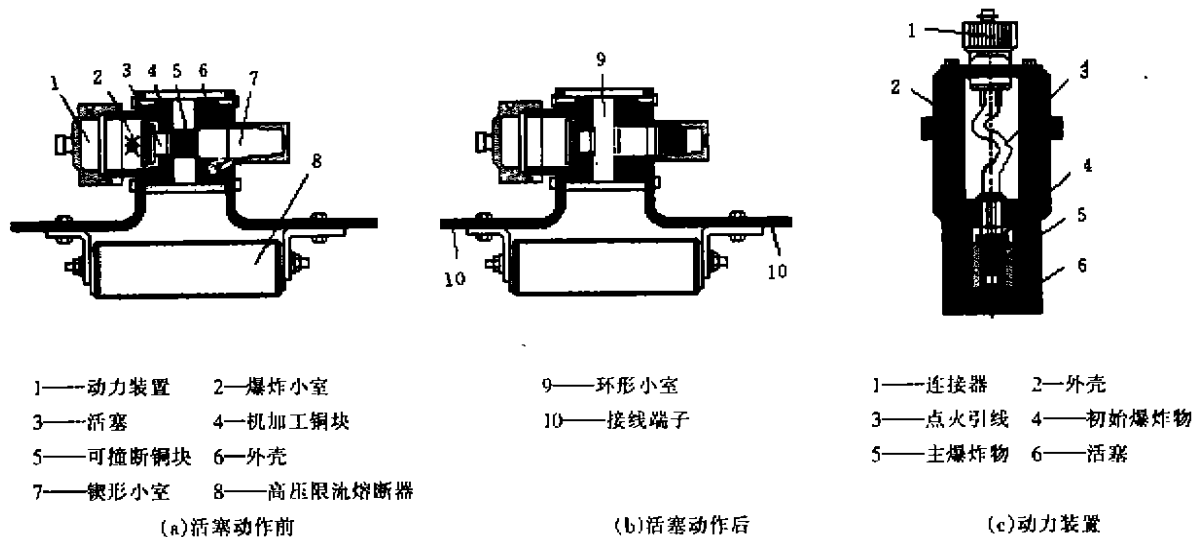


图3 FERRAZ 公司混合式高压限流熔断器结构剖析示意图

快速开断器的动作过程分析如下:参见图4, T_D 为故障探测及信号建立时间,它为达到控制器最小触发电流 I_D (I_{Dmax} 为触发电流最大值,约 $1.1 I_D$) 所需时间 T_S 和控制器建立点火信号并输出到雷管点火需要的时间 T_F 之和,其中 T_F 约 $70 \mu s$; T_R 为机械响应时间,约 $100 \mu s$,即为动力装置的机械延迟时间及可撞断铜块的剪切时间,即从开始爆炸到可撞断铜块被剪切结束的时间间隔; T_P 为弧前电流时间,约 $600 \mu s$,可撞断铜块已运动了一定的距离,此距离是保证隔离断口不产生电弧所必需的,之后电流全部转入熔断器, T_P 即为对应于这段“距离”的时间, T_P 终了时故障电流达到最大值 I_C ,若将故障电流上升率 di/dt 在时间段 ($T_F + T_R + T_P$) 内视为常数,则有 $I_C = 1.1 I_D + (T_F + T_R + T_P) di/dt$; T_A 为燃弧时间,约 $4 \sim 6 ms$, T_A 终了时电弧全部熄灭,电流降到零,开断器保持在分断位置。

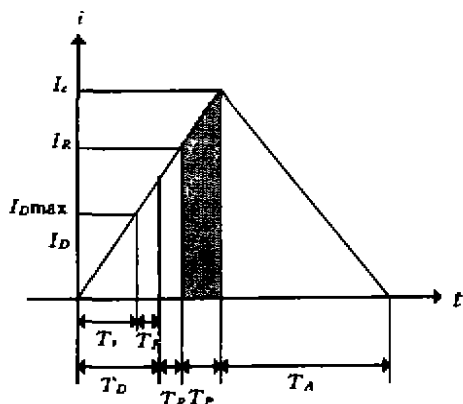


图4 快速开断器开断过程分析图

值得说明的是,高压限流熔断器额定电流的选择应根据图4中 T_P 段阴影部分的 i^2t 核算后确定。另外,由隔离器内爆炸物爆炸而产生的噪声并没有想象的大,近似小型手枪发射的声音。

由上面的介绍,可将混合式高压限流开断器的特点归纳如下:

(1)间接利用了高压限流熔断器的性能、开断速度快,限流能力强;

(2)装置本身的功耗很低,例如 $24 kV/3000A/200 kA$ 产品每相功耗仅为 $230 W$;

(3)体积小,一套完整的三极开断器可装于一台标准开关柜内,装置成本及安装维护费用低;

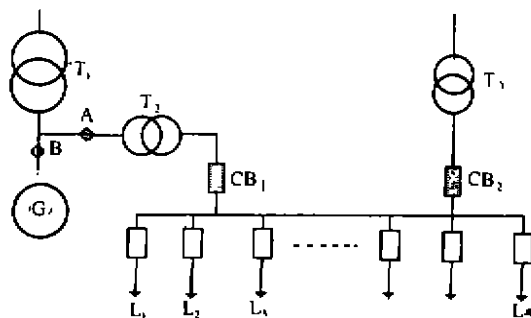
(4)可望做到更大额定电流和更高电压等级,例如

利用简单的并联或串联。

2 应用分析

2.1 在发电厂厂用分支母线的应用

如图5所示,大型火电机组($200 MVA$ 及以上)厂用电分支的正常负荷电流很高,同时预期短路电流也很大,给 CB_1 和 CB_2 断路器的选择带来困难。不仅如此, T_2 及 T_3 采用普通变压器也很难满足有关参数的要求,一般要采用特制的分列变压器。即使这样,厂高变还是经常因短路电流的冲击造成线圈变形损坏或烧毁。解决办法是:在 CB_1 及 CB_2 处串联限流器或在图中A处安装限流器。这样既克服了厂高变易损坏这个老大难问题,又可将 $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ 出线开关的开断容量降低。对中小型火电厂($100 MVA$ 及以下)而言,厂用负荷的额定电流较低,所以备用厂高变的容量较小, CB_2 出口的短路电流也就不高,所以这时只需在 CB_1 或A处串联限流器即可。对于水电厂而言,由于厂用负荷的额定电流很小(如 $200A$ 以下),只是厂用分支母线的预期短路电流特别高(可达 $100 kA$ 以上),所以安装限流器的位置与中小型火电厂的相同,而且可以采用低额定电流的限流器^[4]。另外在小型发电机组的发电机出口(图中B处)也可安装限流器,作为发电机本身的控制和保护装置。除此之外,大功率试验站的冲击发电机电源系统也可用这种混合式高压限流开断器来保护。



G—发电机 T_1 —主变 T_2 —厂高变 T_3 —备用厂高变
 CB_1, CB_2 —断路器 L_1, L_2, L_3, L_n —厂用负荷出线

图5 发电厂厂用电系统示意图

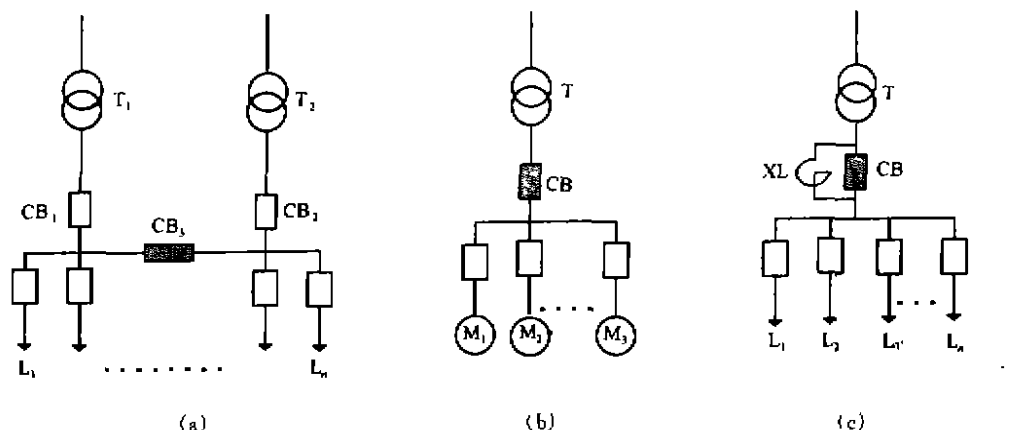
2.2 变电站及用户系统中的应用

如图6(a)~(c)所示,在图中阴影部分的断路器

技术经济综述

上串联限流器即实现了相应的保护功能。图 6(a) 中变压器 T_1 经过断路器 CB_1 及母线上所带的相应负荷表示变电站的一期工程, 而变压器 T_2 经过断路器 CB_2 及母线所带的相应负荷则表示变电站扩容后的二期工程。由于整个变电站容量大幅度增加后一期工程所有出线断路器的额定开断容量都偏小, 这时可在母线的联络断路器位置串联一台限流器, 当故障出现时, 限流器先开断, 将两段母线隔离, 然后故障线路断路器分闸, 隔离故障负荷, 这样一期工程所运行的断路器不需做增容改造就能满足要求, 节约了工程投资。图 6(b)

中所示的是一个多马达系统, 假若某一马达线路发生短路故障, 则其它马达将变为发电机运行, 加上从变压器输送的电流, 在短路点将出现特别高的故障电流。将断路器 CB 位置串联限流器后, 在故障瞬间限流器即将系统电流切断, 再由各马达线路的断路器开断较小额度的故障电流就比较容易了。图 6(c) 中将断路器 CB 更换为限流器, 在任一出线发生故障时限流器快速动作, 然后由限流电抗器限流, 故障回路的断路器再开断, 可保证其它出线供电的连续性, 同时在正常供电时将限流电抗器的热损耗降到最低。



T, T_1, T_2 - 变压器 CB, CB_1, CB_2, CB_3 - 断路器 XL - 限流电抗器 M_1, M_2, M_3 - 大功率高压电动机 L_1, L_2, L_3, L_n - 出线

图 6 变电站及用户系统接线示意图

2.3 其它应用

除上述典型应用外, 这种混合式高压限流开断器还广泛应用于大功率整流系统、变频交流驱动系统等。由于功率器件最害怕故障电流的冲击, 一旦出现故障就要求快速切除。而直流断路器的制造技术及造价均很高, 并且不可能保证几个毫秒的全开断时间, 所以国外的钢厂及造纸厂经常用此类限流器来保护他们的变频负荷或可控整流负荷。这类应用在此不作详述。

3 总结

根据上面的介绍, 可以得出结论: 混合式高压限流开断器由于其独特的结构及工作原理决定了它是一种经济实用的限流器。它可解决电力系统特别是发电厂用电系统和一些特殊用户工程中长期存在的棘手问题。由于此类问题的专业性很强, 所以该产品的销售量比较小, 但即便如此, 这也是一种值得开发的产品。

下面将其主要应用总结如下:

(1) 利用其超强限流及快速动作特性, 保护发配电及用电主设备, 如发电机、变压器、大型高压电动机等的线圈绕组, 以免遭受超额故障电流的冲击而变形, 破坏匝间及相间绝缘结构, 造成更严重的后续故障。

(2) 应用于变电站的母联开关位置, 可以减少母线上各条出线开关的开断容量, 节约工程投资, 特别是在旧站扩容而原先运行的大部分开关不能满足开断容量的要求时, 或不加装限流器所有出线开关均须选择大容量断路器(如 40 kA 及以上)时更是如此。

(3) 不装限流器就没有合适参数的断路器可选的情况, 如水力发电厂厂用电分支母线短路电流预期值根据机组容量的不同可达到 60~200 kA 的水平, 而此分支的额定电流又比较小(如 200 A), 用限流器完成其厂高变的控制及保护任务是最合适的了。

(4) 用于保护大功率变频装置或可控整流装置的交流电源系统或直流负荷系统。(下转第 55 页)

技术交流

性;附加的并联硬负反馈使其开环放大倍数接近 300,对励磁机带负载时间常数进行有效补偿,加快了励磁系统的响应速度。

参 考 文 献

- 1 WKKL 型微机励磁调节器使用说明书. 电力科学研究院.
- 2 刘增煌. 励磁系统试验

收稿日期:1999-12-22

(责任编辑 黄河)

(上接第 10 页)

参 考 文 献

- 1 张玉家,薛文远,朱岳良. 600 MW 锅炉水冷壁管泄漏失效原因初探,中国电力,1998.5
- 2 刘勇,喻红梅,蔡建国等. HG2008 锅炉水冷壁管横向裂纹泄漏试验研究. 热力发电,1998(3). p9-11.
- 3 沈玉华. 600 MW 超临界压力锅炉 50% 负荷时后水冷壁超温问题的探讨. 中国电力, Vol. 30, No. 3, 1997, p33-34.
- 4 田圃. 300 MW UP 直流锅炉防止水冷壁爆漏的研究,西安交通大学硕士论文,1996.
- 5 林宗虎编著. 气液两相流和沸腾传热,西安交通大

学出版社,1987. 12.

- 6 Jin - tao HUANG, Ting - kuan ChEN, Sensitivity Analysis of 600 MW Supercritical Pressure Once - through Boiler, Mutiphase Flow and Heat Transfer Proceeding of the Fourth International Symposium, Aug. 1999, Xi'an China.

作者简介:黄锦涛,讲师,女,1968 年 11 月生,1993 年 4 月获得西安交通大学电厂热能动力工程专业硕士学位,现在西安交通大学能源与动力工程学院多相流国家重点实验室攻读博士,主要从事发电厂热力设备及系统的经济性、安全性分析和研究。

收稿日期:2000-03-09

(责任编辑 朱 来)

(上接第 27 页)

参 考 文 献

- 1 法国 CARBONE LORRAINE 集团 FERRAZ 公司, PYRISTOR 限流器产品说明书,1996 年
- 2 德国 ABB 公司, Is - 限流器产品说明书,1996 年
- 3 英国电力研究所 (EPRI) 内部资料报告文集,1985 年

- 4 合肥凯立电力开关设备公司,高压限流熔断器组合保护装置产品说明书,1999 年

作者简介:李品德,男,1966 年出生,1984 年进入西安交通大学电器专业学习,1991 年取得该专业硕士学位。参加工作后一直从事电力系统高压开关管理及相关的技术开发工作,现为高级工程师。

收稿日期:2000-02-29

(责任编辑 徐钊愈)

(上接第 47 页)

4.10 国外统计的 12 次事故中,有 8 次是因较高的雷电过电压引起,本次事故也是由于雷电过电压而产生的。如有必要,建议有关厂家和科研单位进一步探讨 GIS 的雷电侵入波过电压保护措施,同时可考虑采用特殊参数的氧化锌避雷器。

参 考 文 献

- 1 邱毓昌. GIS 装置及其绝缘技术. 1991

- 2 朱德恒,严璋. 高电压绝缘. 清华大学出版社,1990
- 3 张纬钹. 电力系统过电压与绝缘配合. 1988
- 4 严璋. 电气绝缘在线检测技术. 1995

作者简介:李英奇,男,1971 年生,毕业于重庆大学高电压技术专业,主要从事绝缘监督工作。

收稿日期:2000-03-09

(责任编辑 张 健)