

500 kV 河池串补站控制保护系统的设计与实现

曾玉¹, 汪建², 郭丰胜¹

(1. 中南电力设计院, 湖北 武汉 430071; 2. 长江水利委员会, 湖北 武汉 430010)

摘要: 介绍了 500 kV 河池串补站的控制保护系统的设计与实现, 并从工程角度阐述了串补站控制保护系统与线路保护的配合, 同时对现场出现的问题提出了一些建设性意见。

关键词: 河池串补站; 控制保护系统; 线路

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)10-0075-04

0 引言

在电力系统输电线路中加装串联补偿装置是通过降低线路电抗, 以降低线路的电压降及减少两端的电压相位差, 达到提高电力系统稳定性、增加远距离输电系统的传输容量、改善系统暂态及动态稳定裕度以及合理分配并行输电线路或环网的潮流等目的。

串联补偿技术在电力系统已有 70 多年的应用历史, 世界上已安装的串联补偿电容总容量已超过 90 Gvar^[1]。目前我国已投运的几个大型串补工程为: 江苏徐州 500 kV 阳城固定串补站, 串补度为 40%, 容量为 1 000 Mvar; 广西 500 kV 平果可控串补站, 其中固定串补串补度为 35%, 容量为 700 Mvar, 可控串补部分串补度为 5%, 容量为 100 Mvar; 广西 500 kV 河池固定串补站, 串补度为 50%, 容量为 762 Mvar。

串补站的控制保护系统是串补工程的重要组成部分, 尤其是在输电线路上加装串补电容后, 对线路的继电保护将产生影响, 因而将涉及到与原有线路保护的配合问题。本文结合 500 kV 河池串补站控制保护系统的设计及与线路保护的配合做一些探讨。

1 系统介绍

500 kV 河池变电所是中国南方电网在广西境内的一个重要的 500 kV 变电所, 也是贵州电力及将来的龙滩水电向广西、广东负荷中心送电的一个中间变电所, 通过 2 回 500 kV 线路西接贵州青岩 500 kV 变电所, 2 回 500 kV 线路东接广西柳州 500 kV 沙塘变电所。500 kV 河池变电所串补工程, 分别在河池 - 青岩交流 I、II 回的河池站侧各加装 762 Mvar 串联补偿装置, 其容性电抗约为本线路感抗的

50%。其地理接线图如图 1。

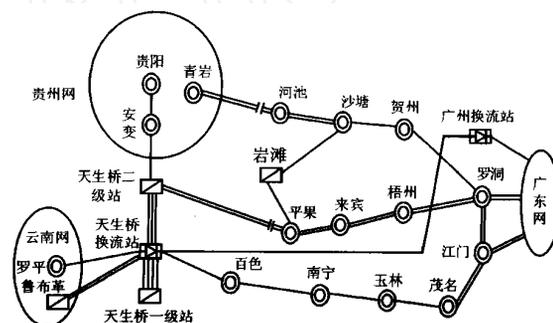


图 1 500 kV 河池串补站地理接线图 (2003 年)

Fig 1 Network diagram of 500 kV Hechi series compensation station in 2003

2 串补站的控制保护系统

2.1 串补装置的保护配置

装有串联补偿装置的电力系统, 当系统发生故障时, 随着运行方式的变化、故障点位置的移动, 通过串补电容器的短路电流在很大范围内变化。由于短路电流通过电容器, 导致电容器端电压升高, 为此需设置附加的设备以保护串补电容器。河池串补站采用 MOV 带间隙保护方案。此方案有利于提高系统的暂态稳定水平以及降低短路时电容器的过电压水平和短路电流。同时, 间隙保护具有后备保护功能, 可大幅降低 MOV 的容量^[2], 节省不菲的工程造价。500 kV 河池串补站的串补装置的保护方案按双重化配置, 两套保护装置分别使用独立的电流互感器的二次绕组、两套光纤传输系统以及两组直流系统供电。保护配置图如图 2 所示。

图 2 中, BBR 为旁路断路器; DS1, DS2 为隔离开关; EL1, EL2 为线路接地刀闸; ES1, ES2 为串补平台接地刀; T10, T21, T210, T31, T50, T70, T60 为电流互感器; F51 为火花间隙; C31, C32, C33, C34 为串

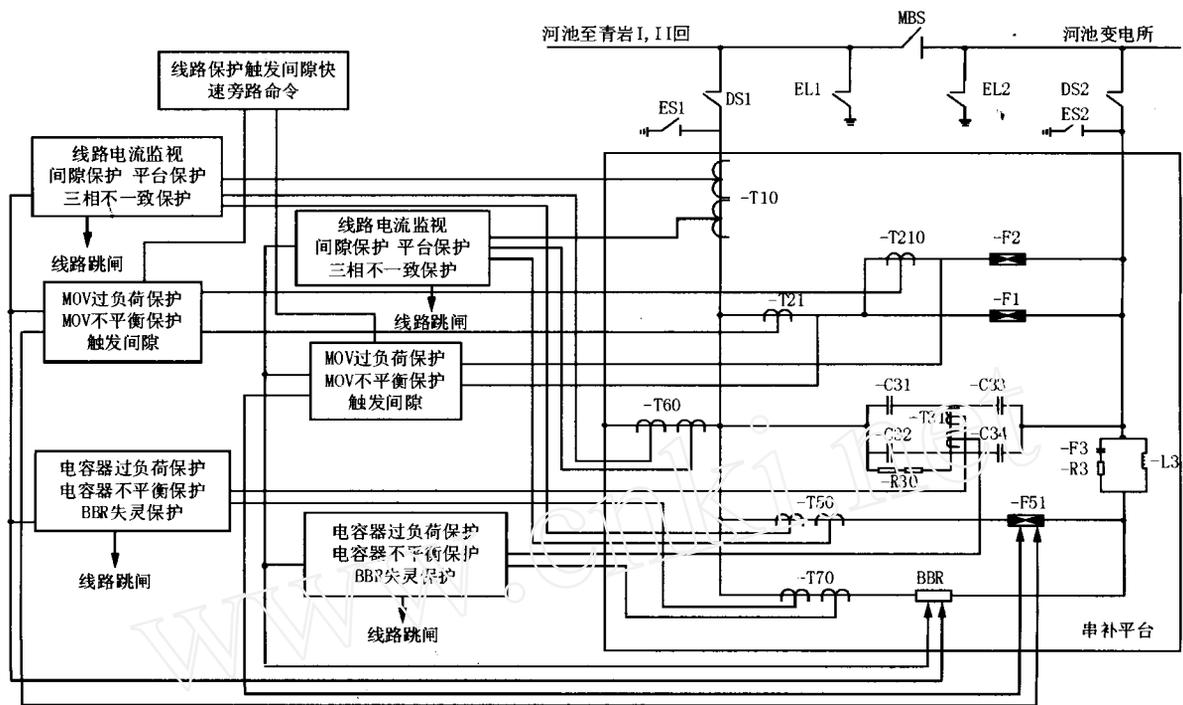


图 2 500 kV 河池串补站的保护配置图

Fig 2 Protection configuration diagram of 500 kV Hechi series compensation station

联电容器; F3, L3, R3 为小间隙, 电感, 电阻, 组成阻尼回路; R30 为分压器; F1, F2 为金属氧化物限压器 (Metal of Oxide, MOV)。

本配置方案共使用了 7 组电流互感器及 1 组电压分压器。设计时考虑了电流互感器的暂态特性应满足继电保护的要求。除用于电容器不平衡保护的电流互感器为 5P6 级外, 其余电流互感器均为 5P40 级。

1) 电容器保护

a 电容器不平衡保护

用灵敏度较高的电流互感器反映不平衡电流, 当电流值较小时, 保护装置发出告警信号, 当电流较大时, 则保护动作, 将瞬时启动旁路断路器, 将电容器旁路。

b 电容器过负荷保护

当负荷超过低限值时, 发告警信号, 超过高限值时, 延时启动旁路断路器, 将电容器旁路, 同时将串补装置永久闭锁。

2) 火花间隙保护

a 触发间隙保护

根据 MOV 的温度及 MOV 回路电流作为启动判据。当 MOV 过负荷值超过参考值时, 将触发间隙导通并使旁路断路器合闸, 将串补电容器旁路。

b 间隙自触发保护

通过监测间隙回路的电流, 当间隙超时触发、触发失败、延时触发及自触发时, 保护将延时启动旁路断路器, 使串补电容器旁路。

3) MOV 保护

a MOV 过负荷保护

包括: MOV 能量积累 / 温度过高、MOV 温度梯度过大、MOV 大电流等保护。当发生上述故障时, MOV 保护将动作, 触发间隙, 使间隙导通, 同时使旁路断路器合闸, 使串补装置退出运行。

b MOV 不平衡保护

通过监测 MOV 分支路电流及总支路电流实现。MOV 无故障情况下, 分支路电流与总支路电流的比值应为 1/2。当 MOV 碟片间发生短路故障时, 这个比率关系将不再维持, 系统可判断出发生故障的支路并找出故障范围, 在报警和相别指示的同时将串补装置永久闭锁。

4) 平台保护

通过监测接于串补平台和线路母线之间的电流互感器的电流来实现。当监测值超过参考值时, 保护将瞬时动作, 并启动旁路断路器, 将串补电容器旁路。

5) 旁路断路器保护

当旁路断路器失灵 (拒合) 时, 与系统保护配

合,跳开河池变电所侧线路断路器,同时,利用原有河池变电所至青岩变电所 I、II 回路保护的远跳通道,即将远跳接点并联至高抗保护远跳线路对侧断路器的接点处,将跳闸命令发生至线路对侧,跳开青岩变电所侧线路断路器。

2.2 串补装置的控制

串补装置的控制采用计算机监控系统,通过工业以太网及现场总线与控制保护设备连接,平台上电流互感器利用光信号与就地控制小室内的控制屏及保护屏接口,地面上其它设备之间采用屏蔽电缆连接。串补平台上设备与就地保护小室间设备的连接采用光缆,可有效实现电气隔离。

串补装置的控制策略为:当区内发生故障时,电容器两端电压上升到限制值,MOV 即刻动作导通,以限制电容器两端电压,当流过 MOV 的电流产生的能量超过 MOV 本身的能量允许值时,串补装置的控制发出触发命令,引发火花间隙导通,同时使旁路断路器合闸,将串补电容旁路。

3 串补装置控制保护系统与线路保护的配合

3.1 河池变电所加装串补电容后对系统继电保护的影响

关于串补电容对输电线路继电保护的影响,国内外继电保护工作者作了大量的工作。一般认为,对于固定串补线路,电压反向、电流反向、LC 谐振级电容器的过电压保护性能是影响系统继电保护性能的主要因素^[3]。

在 2003 丰小、2005 丰大、2015 丰大等运行方式下,对青河线区内不同位置单相接地、三相接地、两相接地以及两相短路不接地 4 种故障类型进行仿真计算,分析相关的电流电压波形及相位关系可得到如下结论^[4]:

1) 与河池变相连的线路保护,包括青河串补线路及相邻无串补的沙河线线路保护,保护选型时应考虑串补电容的影响。

2) 在青河线串补站出口或近区故障,MOV 动作后串补电容容性阻抗不会影响到远区贵州侧线路如青黔线、青安线,以及远区广西侧沙来线、沙岩线、沙贺线保护的動作行为,因此远区保护不需要更换。

在加装串补电容前,青河线及河沙线已配置有 3 套主保护: 第 1 套主保护: 光纤电流差动 RCS931AS; 第 2 套主保护: 光纤电流差动 REL561; 第 3 套主保护: 高频距离 RCS902AS、

光纤电流差动保护及高频距离保护其阻抗 I 段继电器、工频变化量阻抗继电器及其纵联距离继电器和零序方向继电器针对串联电容补偿线路作了相应的改进。从动作原理上可适应串补装置容性阻抗的要求,具体表现在^[5]: 阻抗继电器采用带记忆的正序极化电压; 防止正向故障时阻抗 I 段和工频变化量阻抗超越; 防止反向经电容短路故障时阻抗继电器失去方向性。因此,青河线、河沙线目前保护装置不需要改造。

3.2 线路保护联动旁路断路器

根据计算结果,当串补线路发生单相或多相故障时,在某些情况下,若故障电流较小,则电容器很可能不被旁路,由于串补电容残压的存在,线路断路器跳闸时断口恢复电压将大大升高,超过 IEC 有关标准。因此,需在串补线路内部故障时,由线路保护向串补控制保护系统发出命令,由串补控制保护系统触发火花间隙,同时合上串补电容器的旁路断路器,使电容器放电,以将断路器跳闸时断口恢复电压限制在允许范围之内。此外,在串补线路发生单相故障时,为加速潜供电流暂态分量的衰减,在单相重合闸过程中,故障相断路器跳开时,无论故障相 MOV 能量或电流是否超过整定值,系统保护均应将串补电容器旁路。考虑到“二取二”模式,线路保护与串补保护的配合框图如图 3 所示。

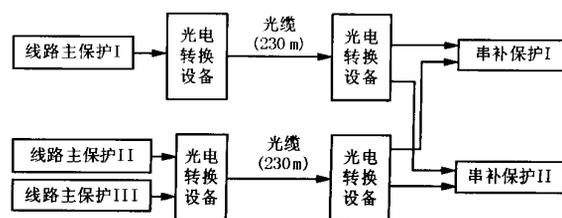


图 3 线路保护与串补保护配合框图

Fig 3 Coordination between power line protection system and series compensation protection system

4 现场问题及建议

4.1 火花间隙的可靠触发电压

从线路暂态恢复电压、故障点潜供电流可靠熄弧等方面考虑,在线路保护确认串补所在线路本线区内故障时,在跳开线路两端断路器的同时给串补装置发命令,暂时退出串补电容,待线路两侧断路器断开、接地电弧熄弧后,在重合闸前(或后)重新投入串补装置。

串补站的保护装置收到线路发来的联动信号后,将同时发信号给间隙及旁路断路器。由于旁路

断路器的合闸时间大于线路断路器的跳闸时间,且间隙的动作时间仅几个毫秒,因此要求间隙在收到信号后可靠击穿,将串补旁路。

问题在于来自外部的触发信号是否能够导致火花间隙可靠击穿,还要取决于间隙两端的最小击穿电压。在系统某些小运行方式下,区内故障时若间隙两端的电压小于间隙的最小击穿电压,此时即使收到两端线路保护的联动信号,间隙也不能可靠击穿。由于收到触发信号而未可靠击穿,间隙的拒绝触发保护将判为间隙故障,给串补装置发永久闭锁命令,永久退出串补电容。

由此带来的后果是在某些运行工况下,系统将无法实现带串补进行单相重合闸,导致降低系统的稳定水平,影响系统的潮流分布。

经与串补站设备供货商磋商,最终通过调整间隙的电子触发回路,将间隙的最小触发电压降至 1.8 pu ($1 \text{ pu} = 105.7 \text{ kV}$,低于此电压值间隙不能可靠击穿,但此时断路器的暂态恢复电压也不会超标),线路区内故障时,若加在串补电容两端的电压 $> 1.8 \text{ pu}$,间隙将可靠击穿,有效限制断路器暂态恢复电压及加速潜供电流暂态分量的衰减。

间隙触发逻辑框图如图 4。

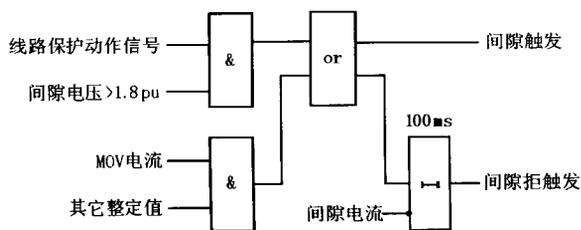


图 4 火花间隙触发逻辑框图

Fig 4 Trigger diagram of spark gap

4.2 电压分压器的测量桥臂

电压分压器 R30 安装于电容器 1/16 分支路上,测得的电压换算为整个电容器支路的电压,其值作为火花间隙的一个必要触发条件。现场测试表明,用 1/16 电压误差较大,改至 1/4 有所提高。理想的作法应是跨接在整个支路上。但分压器的跨接臂现场仅用铜导线接于电容器上,接于整个支路困难很大,建议做相应的整改。

5 结语

本文从工程的角度对 500 kV 河池串补站保护控制系统的设计及与系统保护的配合作了简要的介绍。目前,河池串补站已成功投运,其在提高系统输送能力、改善电力系统稳定性方面所发挥的作用是

显著的,期望本工程的相关经验能够对国内类似串补工程起到一定的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 周孝信,郭剑波,胡学浩,等.提高交流 500 kV 线路输电能力的实用化技术和措施[J].电网技术,2001,25(3):1-6
ZHOU Xiao-xin, GUO Jian-bo, HU Xue-hao, et al Engineering Technologies and Measures for Improving the Transmitting Capability of 500kV Transmission Lines[J]. Power System Technology, 2001, 25(3): 1-6
- [2] 陈葛松,林集明,郭剑波,等.500kV 串补站过电压保护研究[J].电网技术,2001,25(7):22-24
CHEN Ge-song, L N Jiming, GUO Jian-bo, et al Over-voltage Protection for 500kV Series Compensation Station [J]. Power System Technology, 2001, 25(7): 22-24
- [3] 王为国,尹项根,余江,等.固定串补电容对输电线路继电保护影响的综述[J].电网技术,1998,22(11):18-21
WANG Wei-guo, YN Xiang-gen, YU Jiang, et al Influence of Fixed Series Capacitor on Protective Relays for Transmission Lines[J]. Power System Technology, 1998, 22(11): 18-21
- [4] 谷定燮,陈宗显,曾玉,等.河池串补线路区内故障时相关线路电压电流和 MOV 电流研究[R].武汉:武汉高压研究所,2002
GU Ding-xie, CHEN Zong-xian, ZENG Yu, et al Study on the Voltage and Current of Related Transmission Lines and the Current of MOV for Hechi SC in the Process of Interior Line Faults [R]. Wuhan: Wuhan High Voltage Research Institute, 2002
- [5] 曾玉,陈宗显.500kV 河池变电所串补工程串补对继电保护影响专题研究[R].武汉:中南电力设计院,2002
ZENG Yu, CHEN Zong-xian Study on the Influence of Fixed Series Capacitor on Protective Relays for 500kV Hechi SC Project [R]. Wuhan: Central Southern China Electric Power Design Institute, 2002

收稿日期: 2004-09-08; 修回日期: 2004-10-31

作者简介:

曾玉(1973-),女,硕士,工程师,主要从事电力系统变电及调度自动化系统的设计工作; E-mail: zengyu@csepd.com

汪建(1973-),男,硕士在读,工程师,主要从事电力系统配电设计工作;

郭丰胜(1964-),男,高级工程师,从事电力项目管理工。

(下转第 81 页 continued on page 81)

低电压自启动过程,保证不切不重要的电动机。

4 结束语

工作厂用母线因某种原因失电,快速合上备用电源,既可以保证母线不失电,又可以减小电流冲击对电动机等设备的损害,减少电动机自启动过程跳不重要的电动机。切换判据最佳为满足切换判据的快速切换,其次为判据的准同期切换,最不利的是判据的备自投方式切换,如何快速、最佳抓住切换时机,是厂用电快速切换的关键。除此之外还应考虑与保护的配合关系,以及电动机的自启动过程,保证切换的成功率。

参考文献:

- [1] 汪雄海. 电机电源切换冲击扰动机理分析及防护[J]. 浙江大学学报(工学版), 2002, 36(1): 97-100.
WANG Xiong-hai Study on Transient Response Due to Fast Reclosing of the Electrical Sources of the Motor[J]. Journal of Zhejiang University, Engineering Science, 2002, 36(1): 97-100.

- [2] 杨钧,刘书刚,田桂琴,等. 大容量机组 6 kV 厂用电源的切换分析[J]. 电力情报, 1997, (2): 23-25.
YANG Jun, LIU Shu-gang, TIAN Gui-qin, et al Analysis of 6 kV Station Service Switchover Used in Large Generator[J]. Information on Electric Power, 1997, (2): 23-25.
- [3] 段刚,余贻鑫,殷启志,等. 厂用电切换机电动态过程研究[J]. 电网技术, 1997, 22(1): 61-67.
DUAN Gang, YU Yi-xin, YIN Qi-zhi, et al A Study on Transient Electromechanical Behavior of Induction Motors During Station Service Bus Switchover[J]. Power System Technology, 1997, 22(1): 61-67.

收稿日期: 2004-09-13

作者简介:

李瑞生(1966-),男,硕士,高工,主要从事线路保护装置的研究与设计; E-mail: ruisheng1@xjgc.com

王义平(1959-),男,本科,高工,主要从事电厂技术管理工作;

熊章学(1970-),男,工程师,主要从事高压线路保护方面的研发工作。

Application and research of station service fast switchover

LI Rui-sheng¹, WANG Yi-ping², XIONG Zhang-xue¹, YAO Qing-lin³

(1. XJ Electric Protection and Automation Business Department, Xuchang 461000, China;

2. Jingmen Thermal Plant, Jingmen 448040, China; 3. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: If the station service loses power, fast switching spare source can reduce the power duration, primary equipment surge, and motor transient responses. The relationship between voltage and frequency during power loss is analysed, and the criterion and logic of fast switchover are put forward. At the same time, the coordination of fast switchover and protection is considered. How to catch the best time is the key problem of station service fast switchover.

Key words: fast switchover; station service; criterion

(上接第 78 页 continued from page 78)

Design and implementation of the control and protection system for 500 kV Hechi series compensation station

ZENG Yu¹, WANG Jian², GUO Feng-sheng¹

(1. Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, China;

2. Changjiang Water Resource Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: The design and implementation of the control and protection system for 500kV Hechi series compensation station are introduced. The coordination between the series capacitor of control and protection system and the transmission line protection is illustrated. Furthermore, some suggestions are given to solve the spot problems.

Key words: Hechi series compensation station; control and protection system; transmission lines