

500 kV 郑州变电站 SVC 系统的技术升级与改造

常黎¹, 杨光¹, 陈亮², 牛占平³

(1. 郑州供电公司, 河南 郑州 450006; 2. 信阳供电公司, 河南 信阳 464000; 3. 济源供电公司, 河南 济源 454600)

摘要: 介绍了 500 kV 郑州变电站大容量静止无功补偿 (SVC) 系统改造前的运行工况, 分析了改造原因, 提供了基于二次控制保护系统、光电触发与检测的晶闸管阀组和全封闭纯水冷却系统等先进电气技术、设备的解决办法。详细分析了改造后 SVC 稳态控制调节策略、暂态控制调节策略, 结合实际运行数据论证了改造后 SVC 系统对系统电压稳定作出的贡献。500 kV 郑州变电站 SVC 系统改造的成功, 为改造类似引进国外 SVC 系统积累了丰富的经验。

关键词: 静止无功补偿系统; 暂态稳定性; 电压稳定; 稳态控制调节策略; 暂态控制调节策略

The technical improvement and reconstruction of imported SVC in 500 kV Zhengzhou substation

CHANG Li¹, YANG Guang¹, CHEN Liang², NIU Zhan-ping³

(1. Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450006, China; 2. Xinyang Power Supply Company, Xinyang 464000, China; 3. Jiyuan Power Supply Company, Jiyuan 454600, China)

Abstract: This paper introduces the operating-conditions of the SVC system before the upgrade, analyzes the reason of upgrade, and proposes the solutions based on the advanced electric technique and equipment such as control and protection system of secondary side, the thyristor valve group of photoelectric triggering and testing, and the fully sealed cooling water system. It analyzes the stable and transient control and adjustment strategies of the upgraded SVC system, proves the contribution to the voltage stability of the system based on the operation data. The success of the upgrade of SVC system in 500 kV Zhengzhou substation accumulates the successful rebuilding experience for similar imported SVC system.

Key words: static VAR compensation system; transient stability; voltage stability; control strategies for stable station; control strategies for transient station

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)19-0212-04

0 引言

静止无功补偿器又称 SVC, 晶闸管控制电抗器 (TCR) 型的动态无功补偿系统是 SVC 的主要形式之一。SVC 安装于输电网能够起到提高远距离输电网输电能力、稳定系统电压、阻尼功率振荡、增强系统暂态稳定性的作用。在国外从 20 世纪 70 年代开始应用于电力系统^[1-2]。20 世纪 80 年代末在 500 kV 郑州变电站安装了 ASEA 公司制造的大型 SVC 电力设备。SVC 系统为河南 500 kV 输电网的稳定运行起到了良好的作用。但是由于国外电气公司对我国电力系统网架结构了解不够以及电网的进一步发展, 其控制策略不适应于电网的问题变得突出, 加之国外 20 世纪 70 年代的早期技术陈旧, 自动化程度低, 后期维护、技术服务不能保证, 使得 SVC 系统在 20 世纪 90 年代退出运行。我国于本世纪初

经过长期努力实现了 SVC 核心技术的国产化, 随着电力系统应用国产化 SVC 系统时代的来临, 通过自主创新, 制定适用我国实际电网网架结构的 SVC 控制策略, 提高其自动化水平, 全面改造并升级国外 SVC 装置已成为可能。华中电网有限公司、郑州供电公司联合中国电力科学研究院率先在 500 kV 郑州变电站进行了国外引进 SVC 系统的改造工程, 为我国电网改造国外引进 SVC 积累了宝贵的经验。

1 郑州变电站引进 SVC 系统改造原因和改造范围

1.1 引进 SVC 装置的运行状况

500 kV 郑州变设有 2 台主变压器, 其中 #1 主变低压侧 20 kV 母线上装设有原 ASEA 公司生产制造的 SVC 系统, 该静止补偿成套装置由 1 组容量为 135 MVar 的晶闸管控制电抗器 (TCR)、2 组容量为

52.5 MVar 的电容器支路 (FC)、1 组共 15 MVar 的 5 次 (12 MVar)、7 次 (3 MVar) 滤波器组成。SVC 的总无功调节范围为 $-120 \sim +120$ MVar, 其主要接线如图 1 所示。

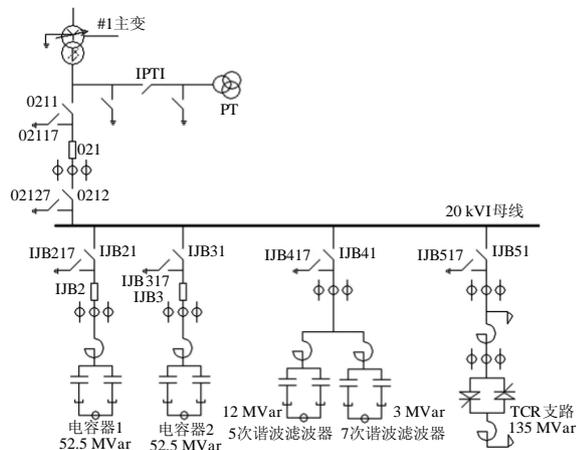


图 1 郑州变电站 SVC 系统接线图

Fig.1 Diagram of SVC in 500 kV Zhengzhou substation

500 kV 郑州变电站原有 SVC 装置的固定电容器组和滤波器组支路运行良好, 未发生大的故障。相控电抗器、高压开关等一次设备运行正常, 未出现严重故障。晶闸管阀组仍可通电运行, 水冷系统有故障, 但仍可带病运行。SVC 控制系统由于设备陈旧, 控制方式落后, 不能适应电网运行的需要, 已无法对 SVC 起到自动控制、跟踪补偿的作用。近年来 SVC 由于不明原因故障使 SVC 总开关 021 跳闸, 并自动闭锁固定电容器支路开关, 使得装置整体退出运行, 不能使用。

1.2 引进 SVC 系统的改造原因

SVC 系统是由二次控制、保护系统 (各元件的保护装置、测量计算调节装置); 晶闸管阀组、水冷系统作用的电抗器 (TCR); 1#2#电容器组 (FC)、相应的高压断路器、隔离开关等元件组成的动态无功补偿设备。由国外引进的一次电气设备由于工艺水平较高, 虽然已运行 20 年, 目前设备情况良好。

二次控制、保护系统采用基于分离器件的模拟控制保护方式, 测量计算调节装置的计算机自动控制方式已落后, 计算机运行近 20 年可靠性不能满足需求, 运行中经常误发跳主进 021 开关指令, 同时不能与变电站现有的综合自动化监控系统兼容; 二次系统的高异常率也是郑州变电站 SVC 故障退出运行的主要原因; 国外引进的 SVC 阀组结构复杂, 采用电磁触发的方式进行晶闸管触发和检测, 该方式早已被光电触发方式取代, 阀的检测系统缺乏自动控制和通讯能力, 继续运行存在很大隐患; 水冷

系统的自动化控制水平极低, 缺乏通讯能力; 自动化水平低使得 SVC 装置故障诊断困难, 故障较多; 后期服务、技术服务、备品备件不能保证。针对这些原因, 华中电网有限公司、郑州供电公司联合中国电力科学研究院通过基于全数字的二次控制保护系统、光电触发与检测的晶闸管阀组和全封闭纯水冷却系统等先进的电气设备对原有 SVC 装置进行改造。

1.3 引进 SVC 系统的改造原则和范围

郑州变电站 SVC 技术改造遵循了以下原则:

1) 针对目前河南省电网的现状和运行需要, 在现有 SVC 系统补偿容量的基础上, 制定新的 SVC 控制策略, 以求最大限度地满足系统动态无功补偿的要求, 提高目前电网的输电能力, 增强系统暂态稳定性, 稳定系统电压, 并增加 SVC 装置运行方式的灵活性。

2) 全面提高现有 SVC 装置的自动化运行水平, 实现全数字化的二次控制与保护系统, 完成对 SVC 装置各支路、阀组和水冷系统的实时监控和保护, 使 SVC 装置整体纳入变电站自动化综合系统, 达到 SVC 的遥信、遥测、遥控和遥调功能, 实现 SVC 无人值守和免维护。

3) 采用光电触发的晶闸管阀组控制方式, 提高 SVC 装置运行的可靠性, 保证该设备的长期稳定运行。

4) 尽量利用现有 SVC 装置的设备, 节约改造资金, 在合理、经济的前提下, 实现 SVC 装置的全面技术升级。

5) 水冷系统进行升级改造。

因此, 技术改造工程主要针对郑州变 #1 主变 20 kV 低压侧 SVC 装置的控制系统、晶闸管阀组和水冷却系统进行, 彻底更换其 TCR 支路晶闸管阀组及其水冷却系统、SVC 的控制、保护、调节系统等, 保留原 SVC 装置一次电气设备部分不变。

2 改造后 SVC 系统的控制策略

2.1 稳态控制调节策略

改造后 SVC 装置的稳态控制策略主要应用于 TCR 感性无功稳态工作点的调节和电容器组的投切, 以 220 kV 母线电压为主要控制目标, 兼顾 20 kV 母线电压, 并有自适应、越限判断、调节对象管理、多种方式闭锁、限值管理、统计管理等功能。SVC 控制系统对 220 kV 母线电压的稳态值进行跟踪, 根据整定的电压参考值和系统无功功率补偿需要, 自动调节 TCR 稳态感性无功输出及投切电容器组, 实现 220 kV 母线电压的稳态控制。稳态无功电压控制

是慢速的、针对系统稳态状况的调节措施，一方面通过对稳态无功功率输出的调节满足了系统对 220 kV 母线电压稳态调节的需要，也补偿了系统的无功功率，另一方面通过稳态电压的调节确定了 SVC 的稳态工作点，保证了 TCR 支路的动态无功储备。系统电压在稳定运行状态下，首先通过改变 TCR 额定容量的 30%~70%感性无功出力来调节系统电压，必要时才投切并联电容器，这样使 TCR 处于系统设定的稳定工作点，保持其动态容性和感性无功储备，在系统发生故障时快速释放，实现无功电压动态支撑作用。

2.2 暂态控制调节策略

改造后 SVC 装置的暂态控制调节策略实现了针对电力系统故障等大扰动情况下的暂态稳定控制和针对低频功率振荡的动态阻尼控制两大功能。为达到以上控制目标，SVC 暂态控制调节策略包括了电压控制环节、辅助控制环节、乒乓控制环节和保护性控制环节四个组成部分。

电压控制环节主要实现 SVC 对 220 kV 系统电压的暂态控制特性；辅助控制环节则实现对 220 kV 输电线路功率振荡的阻尼作用；乒乓控制环节在系统故障初期保证了对系统的无功电压快速支撑和强补功能；保护性控制环节则对 SVC 暂态调节过程中主变中、低压侧母线的运行状况进行兼顾，保证 SVC 装置可靠运行。SVC 控制系统采用多反馈调节方式，通过前端采集和预变换环节获得 220 kV 母线电压偏差、潮流断面有功功率振荡增量等控制变量，按照闭环控制传递函数框图综合各个目标量进行加权综合控制。其控制传递函数框图如图 2。其中， $G_u(s)$ 为电压控制传递函数， $G_p(s)$ 为辅助控制传递函数，经过它们计算获得 SVC 无功功率控制增量 ΔQ_i ，在 SVC 稳态调节计算结果 Q_0 的基础上，得到 SVC 总无功输出 $Q_0 + \Delta Q_i$ 。当电网发生短路故

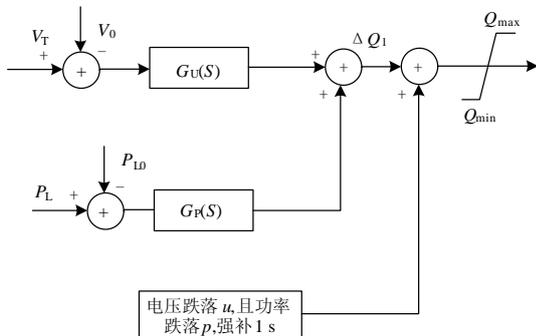


图 2 暂态电压控制及阻尼功率振荡传递函数框图

Fig.2 Diagram of transfer function of controlling transient voltage and damping power oscillation

障时，暂态控制策略通过对系统电压跌落的检测，对 220 kV 系统进行快速动态无功强补，实现 SVC 的乒乓控制环节。SVC 装置的暂态控制动态响应时间可以达到 15 ms。

采用这种多控制环节的闭环控制方式，能够实现电网暂态电压稳定、快速电压支撑以及对线路有功振荡进行阻尼的作用。在系统出现大的扰动状况下，SVC 能够起到促进电压恢复、抑制故障后的系统振荡、增强系统阻尼的效果。

3 改造后 SVC 装置的实际控制效果

500 kV 郑州变电站 SVC 装置技术升级改造工工程于 2007 年 4 月 28 日完成并投入运行，其控制效果在该装置的系统调试期间和随后的运行工程中得到显示。

3.1 稳态控制效果

500 kV 郑州变电站改造后的 SVC 装置 220 kV 系统控制目标设定为 235 kV，从其稳态控制过程可以看出，220 kV 系统母线电压在 SVC 自动控制调节的作用下，通过改变 TCR 支路的无功出力和投切 2 个支路的并联电容器组，保持在 235±2 kV 的范围内稳定运行。

3.2 暂态控制效果

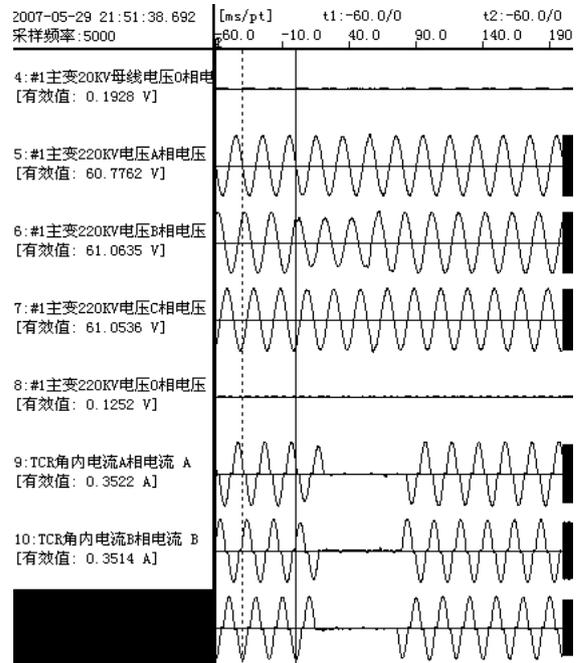


图 3 220 kV 系统电压及 TCR 相电流波形 (波形依次为 220 kV 母线三相相电压、TCR 支路三相相电流)

Fig.3 Waveforms of 220 kV voltage and TCR current (including 3 phase 220 kV voltage and TCR phase current)

SVC 装置其暂态控制行为只有在系统出现大的扰动的情况下才能看出。郑州变电站 SVC 装置改造后投入运行,在随后的运行中根据 5 月 29 日 21:51 的故障录波记录,如图 3 所示,当 220 kV 系统电压的 B 相发生故障电压跌落时, SVC 装置的 TCR 电流在 15 ms 内进行了快速补偿,将 TCR 的感性电流降到零,对 220 kV 系统进行了近 80 MVar 的动态无功补偿支撑作用。

4 结论

500 kV 郑州变电站静止无功补偿器(SVC)的改造于 2007 年 4 月完成并投入运行,目前设备运行良好,从实际的运行情况上看, SVC 装置的控制调节策略是有效的,当系统稳定运行时有效补偿了系统所需的无功功率,当电网出现严重故障时, SVC 装置能够准确、快速地响应,有效支撑系统电压,提高系统暂态稳定性,阻尼故障后系统可能出现的低频振荡,对于提高河南电网的安全稳定运行将起到十分重要的作用。SVC 改造工程的成功实现,也为进一步对国外 SVC 装置的改造积累了丰富的经验。

参考文献

- [1] 赵贺. 电力电子学在电力系统中的应用—灵活交流输电系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
ZHAO He. Power electronics in power system - flexible AC transmission systems[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [2] 栗时平, 刘桂英. 静止无功功率补偿技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
LI Shi-ping, LIU Gui-ying. Static reactive power compensation technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

- [3] Mathur R M, Varma R K. 基于晶闸管的柔性交流输电控制装置[M]. 徐政, 译. 北京: 机械工业出版社, 2005.
Mathur R M, Varma R K. Thyristor-based flexible AC transmission control unit[M]. XU Zheng, trans. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [4] 刘洪涛, 徐政, 等. 静止无功补偿器对发电机组次同步振荡特性的影响[J]. 电网技术, 2003, 27 (1): 1-4.
LIU Hong-tao, XU Zheng, et al. Staticvar vompensator for generator subsynchronous oscillation characteristics [J]. Power System Technology, 2003, 27 (1): 1-4.
- [5] 常勇, 徐政. 基于射影控制的直流输电和静态无功补偿器协调控制[J]. 电网技术, 2006, 30 (16): 40-44.
CHANG Yong, XU Zheng. HVDC based on projective control and static reactive power compensators coordination and control[J]. Power System Technology, 2006, 30 (16): 40-44.
- [6] 许有方. 华中电网 500 kV 枢纽变电站的有载调压变压器和静止无功补偿器[J]. 电网技术, 2003, 27 (6): 68-70.
XU You-fang. On-load voltage regulator and static voltage compensator of load-center substation in central China power grid[J]. Power System Technolgy, 2003, 27 (6): 68-70.

收稿日期: 2009-10-15; 修回日期: 2009-11-23

作者简介:

常黎(1959-), 男, 高级技师, 从事电力系统继电保护专业工作;

杨光(1974-), 男, 高级工程师, 从事电力系统继电保护管理工作; E-mail: zzgdyg@163.com

陈亮(1977-), 男, 高级工程师, 从事电力系统继电保护技术与管理工作。

团中央副部长陈宗一行莅临许继参观并考察共青团工作

2010 年 9 月 17 日下午, 团中央农村青年工作部副部长陈宗带领团中央、团省委和团市委有关领导莅临许继参观并考察许继共青团工作, 集团团委曹丽璐热情接待了陈部长一行。

在高新产品展厅, 曹丽璐向客人介绍了许继的发展历程、高新技术产品研发以及许继承担的重大工程项目, 并详细讲解了许继青年工作的组织和开展情况, 强调了许继青年员工在公司发展过程中起到的重要作用。

陈宗副部长对许继 40 年的发展历史和取得的辉煌成就表示惊叹, 并对许继的青年工作给予极大的肯定, 认为许继的青年工作“有组织、有特色、有亮点、有成效”, 鼓励许继团委在青年工作上继续保持勇于创新, 大胆突破的工作作风, 积极吸收好的经验, 助推许继青年工作更上新台阶。