

11. 29 事件引发对天广直流无功控制的深层分析

刘 洋, 黎张文

(中国南方电网超高压输电公司天生桥局, 贵州 兴义 562400)

摘 要:介绍了无功功率控制在高压直流输电系统中的作用, 分析了天生桥换流站无功功率控制模式和无功控制功能方式、交流滤波器的配置及其投切控制, 通过对 11. 29 事件的分析来说明在高压直流输电系统运行和维护工作中无功控制应该注意的问题, 并针对天广直流无功控制软件存在的缺陷进行了分析。

关键词:高压直流输电系统; 交流滤波器; 无功控制; 缺陷

Abstract: The reactive power control in HVDC transmission system is introduced. The mode and the functions of reactive power control, the configurations of AC filter and its switching control in TianShengqiao converter station are analyzed. According to the descriptions of 11. 29 events, attention should be paid to the reactive power control in the operation and the maintenance of HVDC transmission system. And the defects existing in reactive power control software in TianShengqiao converter station are also analyzed.

Key words: HVDC; AC filter; reactive power control; defect

中图分类号: TM761 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)06-0013-03

0 引 言

高压直流输电系统运行时, 无论是整流器还是逆变器都要消耗大量的无功功率, 其大小既与直流输送功率有关, 又与运行方式和控制方式有关。不管是整流侧还是逆变侧, 直流系统都需要从交流系统吸收容性无功, 即整流器对于交流系统而言总是一种无功负荷。整流器在实际换流过程中, 消耗大量无功, 并在交、直流侧都产生大量谐波, 对直流系统本身会产生危害, 对通信系统也会产生干扰, 因此为尽量保持系统无功平衡和滤除谐波, 换流站需要加装无功补偿和滤波装置^[1]。通常在额定负荷运行时, 换流器消耗的无功功率可达额定输送功率的 30%~60%, 需要投入大量无功功率补偿容量, 但当低负荷运行时, 换流器消耗的无功功率迅速减小, 如果补偿的无功功率不变, 则换流站过剩的无功功率将注入所连交流系统, 引起换流站交流母线电压升高。因此, 必须对投入的无功功率补偿容量进行控制, 无功补偿装置的投切控制主要有不平衡无功控制和交流电压控制两种方式^[2]。由此可见, 运行人员对无功控制系统的密切监视对高压直流系统的稳定运行起着尤为重要的作用。

1 无功控制概述

1. 1 直流站控的控制范围

直流站控的控制范围包括: (1)对高压直流设备、直流线路、接地极线路的控制和监视; (2)对换流站无功设备、交流母线电压的控制和监视。

1. 2 直流站控的主要功能

直流站控的主要功能包括: (1)完成对直流开关场高压设备的控制和监视; (2)完成换流站的无功控制, 即交流滤波器的投切功能。

1. 3 无功控制

无功控制是与站级相关的控制功能, 属于直流站控。它通过调整换流站装设的无功补偿设备的投运容量, 通过无功功率控制方式将换流站与交流系统交换的无功功率控制在规定的范围内, 通过交流电压控制方式将换流站交流母线电压控制在规定的范围内。直流站控通过投切交流滤波器和小组交流滤波器来满足设定的无功范围。其无功控制功能主要有两种控制模式, 即定无功功率控制和定交流母线电压控制。前者便于所联交流系统无功功率的平衡, 后者有利于弱受端交流系统的电压稳定性。

2 无功功率控制模式

无功功率控制有两种模式:自动模式和手动模式^[3]。正常情况下在自动模式运行,严禁改为手动模式。当无功功率控制设定为自动模式时,小组交流滤波器可以选择自动控制和手动控制。当选择为自动控制时,小组交流滤波器由无功功率控制投切;当选择为手动控制时,小组交流滤波器可以由运行人员决定其投退,在该方式下,如果该小组交流滤波器未投入运行,无功功率控制就认为该小组不可用,从而可能引起直流负荷受到限制。正常情况下,小组交流滤波器选择自动控制运行,在某小组交流滤波器检修时可选手动控制进行操作。

3 无功控制功能方式

无功控制功能有两种控制方式,即定无功功率控制和定交流母线电压控制^[2]。无功控制功能最重要的组成部分为小组交流滤波器的投切控制,其由直流站控制。小组交流滤波器投切的判据如下:(1)交流母线电压的设定值;(2)所连接的滤波器的性能;(3)整个站无功的设定值^[4]。

3.1 定无功功率控制

定无功功率控制的原理为计算所有投入的交流滤波器的无功和两个换流器吸收的无功,可求出与交流电网间的无功交换量。根据无功的交换量来投切滤波器,投切限值可调整为最大值:滤波器投入时系统无功值(CMD_SET_QMAX)及最小值:滤波器退出时系统无功值(CMD_SET_QMIN)及根据电网承受能力设计的无功允许带宽(BANDWIDTH)。在无功控制中,无功功率供应和消耗的差额Q(QSYS)是利用已测得的换流器无功功率和已测得的滤波器组的无

功功率计算出来的。设定值 CMD_SET_QMAX 和 CMD_SET_QMIN 将由运行人员在工作站进行调整。如果 $QSYS - CMD_SET_QMAX > BANDWIDTH$, 延时 5 s 投入小组滤波器。如果 $QSYS < CMD_SET_QMIN$, 则立即切除小组,无任何延时^[4]。

3.2 定交流母线电压控制

在电压控制中,为了进行交流电压控制,测量了母线电压 U。高设定值 U_{max}/set 和低设定值 U_{min}/set 由运行人员在在直流工作站上调整。如果 $U < U_{min}/set$ 延时 5 s 投入小组滤波器。如果 $U > U_{max}/set$ 延时 5 s 切除小组滤波器^[5]。

3.3 交流电压限制控制

如果交流电压超过了“禁止连接”的设定值,为了避免超出电压的稳定状态和由于交流过电压保护而导致的跳闸,不允许投入更多的小组滤波器;如果交流电压超过了“隔离 跳闸”设定值,将在一定延后退出小组滤波器;如果交流电压降到“禁止隔离”的设定值,不允许退出更多的小组滤波器;如果交流电压达到“连接”的设定值,在一定延后将会投入另外的小组滤波器^[5]。

4 交流滤波器投切控制

4.1 交流滤波器配置

天生桥换流站共有 3 大组交流滤波器,第一大组连接在第八串 2082 开关与 2083 开关间的出线上,第二大组连接在第二串 2021 开关与 2022 开关间的出线上,第三大组连接在第一串 2012 开关与 2013 开关间的出线上^[6]。

每组交流滤波器又分为 3 个小组,共 9 个小组,其中包括 4 小组 A 型滤波器、2 小组 B 型滤波器和 3 小组 C 型滤波器(2 小组 C₄₈ 和 1 小组 C₃₆),具体配置如表 1。

表 1 交流滤波器配置情况

组 别	调度编号	滤波器编号	滤波器型号	额定容量 (Mvar)	调谐次数 (n)
第一大组	281 交流滤波器	D61	B	80	DT(3/36)
	282 交流滤波器	D62	A	80	DT(12/24)
	283 交流滤波器	D63	C	80	单调谐 (48 次)
第二大组	271 交流滤波器	D71	A	80	DT(12/24)
	272 交流滤波器	D72	A	80	DT(12/24)
	273 交流滤波器	D73	C	80	单调谐 (36 次)
第三大组	261 交流滤波器	D81	A	80	DT(12/24)
	262 交流滤波器	D82	B	80	DT(3/36)
	263 交流滤波器	D83	C	80	单调谐 (48 次)

4.2 交流滤波器投切原则

交流滤波器小组由站控系统的无功功率控制完成,以补偿换流器无功功率和进行谐波滤波。交流滤波器小组自动投切遵循以下原则:解锁时按最小滤波器配置,投 A+B 型交流滤波器各一组,接下来根据系统需要再投入第二个 A+B 组;所有 A 型交流滤波器投入后, C 型交流滤波器才根据系统需要投入;如果某一型号的交流滤波器不可用,则取代的交流滤波器按 A→B→C₃₆→C₄₈ 的顺序替代;同种型号的交流滤波器按照“先投先退”的原则进行自动投切。交流滤波器小组的投切优先于电容器小组。首先投入所需的滤波器小组,然后再投入电容器小组。反之,先切除电容器小组再切除滤波器小组^[6]。

5 11.29 事件分析

5.1 事件过程

2008 年 11 月 29 日, 500 kV 直流双极运行, 负荷 1 300 MW。所有 9 个小组交流滤波器在投入状态, 263ACF 在试运行阶段, 并保持在非选择状态。10 时 02 分, 运行人员将 263 交流滤波器投入试运行, 并保持在非选择状态。11 时 34 分至 11 时 36 分, 双极功率从 1 300 MW 降至 1 100 MW 过程中, 283 交流滤波器自动退出, 11 时 47 分至 11 时 49 分, 双极功率从 1 100 MW 降至 900 MW 过程中无小组交流滤波器退出运行, 11 时 52 分至 11 时 54 分, 双极功率从 900 MW 降至 700 MW 过程中也无小组交流滤波器退出运行。11 时 55 分, 运行人员发现, 天广直流功率降到 700 MW 以后, 除 283 交流滤波器在退出以外, 其余 8 个小组交流滤波器在投入状态, 而且工作站未显示下一组将要退出的小组交流滤波器。而此时 220 kV 母线电压达到 238 kV, 无功过剩为 330 Mvar 直流工作站发无功越限轻微告警。运行人员立即投入 311、312 低压电抗器, 将 220 kV 母线电压调整至 236 kV。经过初步分析, 可能与 263 交流滤波器在非选择状态有关, 随即向调度申请将 263 交流滤波器操作到热备用状态, 随后 273 交流滤波器、271 交流滤波器、272 交流滤波器依次自动退出, 直流站控无功投退恢复正常, 运行人员退出 311、312 低压电抗器。

5.2 事件后果

天生桥换流站出现无功功率不能自动控制的情况, 产生无功大量过剩, 220 kV 及 500 kV 系统母线

电压偏高。影响电网的无功功率控制, 对通讯设备产生干扰, 使换流器的控制不稳定, 不利于降低电网网损, 严重时可能会引起电网局部的谐振过压, 危及电网安全稳定运行。

5.3 事件原因分析

1) 小组交流滤波器自动退出的原则是: 在没有其他型号 (A、B 型) 小组交流滤波器被选定为下一组退出的前提下, 优先选择 C 型为下一组退出的小组交流滤波器。而在有 C 型小组交流滤波器可以退出的前提下其他型号的小组交流滤波器不能被选择为下一组退出。小组交流滤波器配置组合如表 2。

表 2 小组交流滤波器配置组合情况

	A+B+C	A	B	C
CF01	2	1	1	0
CF02	3	2	1	0
CF03	4	2	2	0
CF04	5	3	2	0
CF05	6	4	2	0
CF06	7	4	2	1
CF07	8	4	2	2
CF08	9	4	2	3

2) 故障时 C 型小组交流滤波器的状态是: 283 交流滤波器刚刚自动退出; 273 交流滤波器在投入状态; 263 交流滤波器在手动投入状态。由于 283 交流滤波器在退出位置, 不可能再退出; 263 交流滤波器在手动投入状态, 无法由自动控制退出; 273 交流滤波器则满足自动退出条件。

3) 此时可以自动退出的只有 273 交流滤波器, 但是 273 交流滤波器退出的条件又不能满足, 273 交流滤波器分闸条件有 5 个, 其中有一个条件不能满足: 263 交流滤波器在分位或者已经发出 263 交流滤波器分闸信号。所以一直不能选定下一个退出的小组交流滤波器, 但是 C 型小组交流滤波器退出的条件又是满足的。

5.4 反事故措施

1) 小组交流滤波器投入试运行期间, 运行人员密切监视直流负荷变化情况、交流母线电压情况, ACF 自动投退预选情况以及自动投退情况。

2) 建议在检修后小组交流滤波器投入试运行的时间尽量选择在直流负荷稳定的时段。

3) 小组交流滤波器试投的时间不要过长, 不要跨越负荷峰谷时段。在需长时间试投的前提下, 建议

(下转第 32 页)

波模型,并系统分析了 GB/T 14549—93、GB/Z 17625.4—2000 对谐波限值以及谐波叠加方法的规定,以此为依据提出了在已知谐波源相位和未知谐波源相位两种情况下的配电网谐波潮流计算步骤。该方法可广泛应用于配电网系统谐波估算中。

参考文献

- [1] GB/T 14549—1993, 电能质量 公用电网谐波 [S].
- [2] GB/Z 17625—2000, 中、高压电力系统中畸变负荷发射限值的评估 [S].
- [3] J Arrillaga D. A. Bradley P. S. Bodger 电力系统谐波 [M]. 北京:中国矿业大学出版社, 1991.
- [4] 王猛. 电牵引负荷谐波在三相电力系统中的分布与计算 [D]. 成都:西南交通大学, 2003.

- [5] George J Walkileh 电力系统谐波——基本原理、分析方法和滤波器设计 [M]. 北京:机械工业出版社, 2003.
- [6] Task Force on Harmonic Modeling and Simulation “Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonic in Electric Power networks”. IEEE Trans [J]. 1996, 11(1): 452—465.
- [7] Vinay Sharma R. J Fleming Leo Niekamp “An Iterative Approach for Analysis of Harmonic Penetration in the Power Transmission Networks”. IEEE Trans [J]. 1991, 6(4): 1698—1706.
- [8] 张学松, 柳焯, 于尔铿, 等. 配电网潮流算法比较研究 [J]. 电网技术, 1998, 22(4): 45—49.

(收稿日期: 2009—07—07)

(上接第 15 页)

分段试投, 避开负荷低谷时段。

4) 分析控制软件是否存在缺陷, 适当进行修改, 避免类似情况发生。

6 结 语

目前天广直流运行在定无功功率控制功能方式和自动无功功率控制模式, 当要将某小组交流滤波器进行手动操作时, 应将该小组交流滤波器操作到非选择状态, 然后才能对其进行操作。无功功率控制主要通过投退交流滤波器实现, 直流系统将会根据负荷对无功的要求和对谐波的要求而确定正常运行时的滤波器小组数。在闭锁状态, 直流站控检测交流滤波器小组的可用数目, 如果可用的交流滤波器满足最小配置, 直流站控将送一个确认的信号到极控, 允许极解锁。在极解锁时, 为了过滤交流谐波, 将投入一个 A 型和一个 B 型小组滤波器。在无功控制自动模式下解锁时, 极控将送一个整流器“解锁”状态信号到直流站控。直流站控将投入下一个 A 型和一个 B 型小组滤波器。如果即将投入的小组滤波器出现故障, 则自动投入下一个可用的小组滤波器。在换流器解锁后大约 500 ms 滤波器最小数目配置完成。在解锁状态, 如果由于滤波器小组不可用, 不能满足正常运行负荷所需求的无功和谐波, 将会发出“电流控制”的告警信号, 此信号在一定延时之后会将降低电流的信号送到极控, 极控收到信号后将会执行降低单极或

双极传输功率命令。因此, 要求运行人员密切监视无功功率控制是否在自动模式, 各个小组交流滤波器的状态以及交流滤波器投退情况能否满足直流系统的需求, 尽量避免由于无功功率控制出问题而引起直流系统降负荷运行和强迫停运情形的发生。同时, 特别注意小组交流滤波器检修后的试运行阶段应尽量安排在直流负荷稳定的时段, 在试运行期间运行人员要密切其他小组滤波器的自动投退预选情况和自动投退情况是否正常。

参考文献

- [1] 赵畹君. 高压直流输电工程技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 曹继丰. 高压直流输电现场实用技术问答 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [3] 2008 浙大直流组. 直流输电 [M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.
- [4] Siemens DC station control system information manual (Tianshengqiao Station). Germany Siemens 1999.
- [5] Siemens AC filter and DC filter study report performance and rating (Tianshengqiao Station). Germany Siemens 1999.

作者简介:

刘洋 (1983—), 男, 吉林人, 工学、理学双学士, 助理工程师, 主要从事高压直流输电的运行和维护工作。

黎张文 (1979—), 男, 广西人, 工学学士, 助理工程师, 主要从事高压直流输电的运行和维护工作。

(收稿日期: 2009—08—05)